

УДК 621.181

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ ТОПКИ КОТЛА БКЗ-500 КРАСНОЯРСКОЙ ТЭЦ-2

¹Шишканов О.Г., ²Зубарев А.Е., ¹Зырянов И.В.

¹ООО «Нексиа Пачоли Консалтинг» г. Москва,

²ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)» филиал Красноярская ТЭЦ-2 г. Красноярск

В настоящее время в энергетике при пылевидном факельном сжигании канско-ачинских бурых углей нашли широкое применение различные по тепловой мощности парогенераторы, топочные камеры которых оборудованы горелками, установленными несколькими ярусами по высоте и направленными по касательной (тангенциально) к условной окружности. Диаметр ее составляет, как правило, одну десятую глубины топки. Горелки монтируются вблизи углов или на стенах топочной камеры. Используется также комбинированная компоновка.

Тангенциальная схема установки горелок призвана осуществить практически полное выгорание угольной пыли и повышение интенсивности процессов теплообмена за счет организации активного взаимодействия горелочных струй и вращательного движения около экранов высокотемпературных газовых потоков. Вместе с тем, результаты проведенных многочисленных экспериментов показали, что в топочных камерах такого класса имеются существенные тепловые неравномерности, зафиксированные как по высоте, так и в сечениях топки. Установлено, что на величину, а также на расположение максимума высокотемпературного факела, влияет схема включения горелочных блоков, что определяется работой соответствующей индивидуальной пылесистемы прямого вдувания угольной пыли.

Выполненный с помощью многозонной математической модели теплообмена, объем расчетных исследований [1, 2] показал, что существует возможность управления структурой факела. Пути реализации такого управления заключаются в распределении подаваемых в топку угольной пыли, воздуха, газов рециркуляции между работающими пылесистемами при отключении одной из них, а также за счет изменения угла поворота горелочных блоков [3-6].

Проверка полученных расчетных соотношений проводилась в ходе экспериментальных измерений показателей теплообмена при эксплуатации котла БКЗ -500 ст. № 6 филиала Красноярской ТЭЦ-2. В ходе экспериментов фиксировались плотности падающих на экраны радиационных потоков (кВт/м^2). Кроме показателей тепловой работы при экспериментах определялся состав дымовых газов. Эти измерения проводили сотрудники стационарной лаборатории с помощью газоанализатора ДАГ-500.

Цель проводимых экспериментальных исследований: разработка режимов эксплуатации котла, при которых обеспечиваются бесшлакочные условия несения номинальной нагрузки при минимальных концентрациях оксидов азота в дымовых газах за счет снижения тепловых неравномерностей в сечениях топочной камеры.

Всего было проведено 9 опытов с разным сочетанием работающих пылесистем, а также с разной их загрузкой пылеугольной смесью. Общее число точек измерения в каждом опыте составляло 48, по числу доступных смотровых лючков топочной камеры.

В целом, эксплуатационные показатели работы котла при проведении опытов, а также характеристики сжигаемого топлива (взяты по результатам исследований химической лаборатории филиала Красноярской ТЭЦ-2) приведены в таблицах 1, 2. Из представленных данных видно, что основные эксплуатационные параметры работы котла при осуществлении опытов оставались практически одинаковы.

Таблица 1. Эксплуатационные показатели работы котла БКЗ-500 во время проведения экспериментов

Номер опыта	Нагрузка котла, т/ч	Сочетание работающих пылесистем	Нагрузка электродвигателей, А				Температура ПУС за мельницей-вентилятором, °С			
			МВ А	МВ Б	МВ В	МВ Г	А	Б	В	Г
1	500	АБВГ	46	47	48	47	161	170	171	165
2	500	АВГ	50		52	50	139		153	131
3	500	АБВ	48	47	56		149	177	120	
4	500	АВГ	47		49	56	158		165	116
5	500	БВГ		50	52	51		134	128	124
6	500	БВГ		53	46	51		157	167	130
7	500	АБВ	50	48	49		141	152	161	
8	500	АБГ	52	50		50	120	136		143
9	500	АБГ	52	50		48	114	142		170

Таблица 2. Эксплуатационные показатели работы котла БКЗ-500 во время проведения экспериментов

Номер опыта	Температура перегретого пара, °С	Разряжение в топке	Температура уходящих газов, °С	Кислород в уходящих газах, %		Температура воздуха за ВЗП, °С		Характеристики топлива		
				А	Б	А	Б	W ^t , %	A ^t , %	Q _i , ккал/кг
1	555	3	178	5,1	4,6	308	296	32,5	4,9	3969
2	555	3	177	5,3	4,2	308	293	32,5	4,9	3969
3	555	3	166	4,6	4,6	294	290	32,4	4,3	3969
4	555	3	164	4,9	4,2	291	282	32,4	4,3	3969
5	555	3	168	5,0	5,4	307	297	33,0	5,5	3969
6	555	3	163	5,0	4,7	302	291	33,0	5,5	3969
7	555	3	173	5,1	4,0	301	298	32,4	4,4	4058
8	555	3	170	5,1	3,7	298	284	27,8	4,5	4058
9	555	4	167	5,3	3,9	294	280	27,8	4,5	4058

Перераспределение топлива по пылесистемам осуществлялось за счет соответствующего изменения токовой нагрузки двигателей привода мельниц-вентиляторов. При этом соблюдалась необходимая температура пылеугольной смеси за мельницей. В случаях равной загрузки топлива по работающим пылесистемам токовая нагрузка двигателей поддерживалась приблизительно одинаковой. Следует отметить, что обеспечение перераспределения топлива по пылесистемам не приводит к существенному изменению эксплуатационных показателей

и не выходит за пределы значений обусловленных техническими нормативами. Так, максимальная сила тока для наиболее загруженной пылесистемы поддерживалась на уровне 54-55 А.

Результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 1–4.

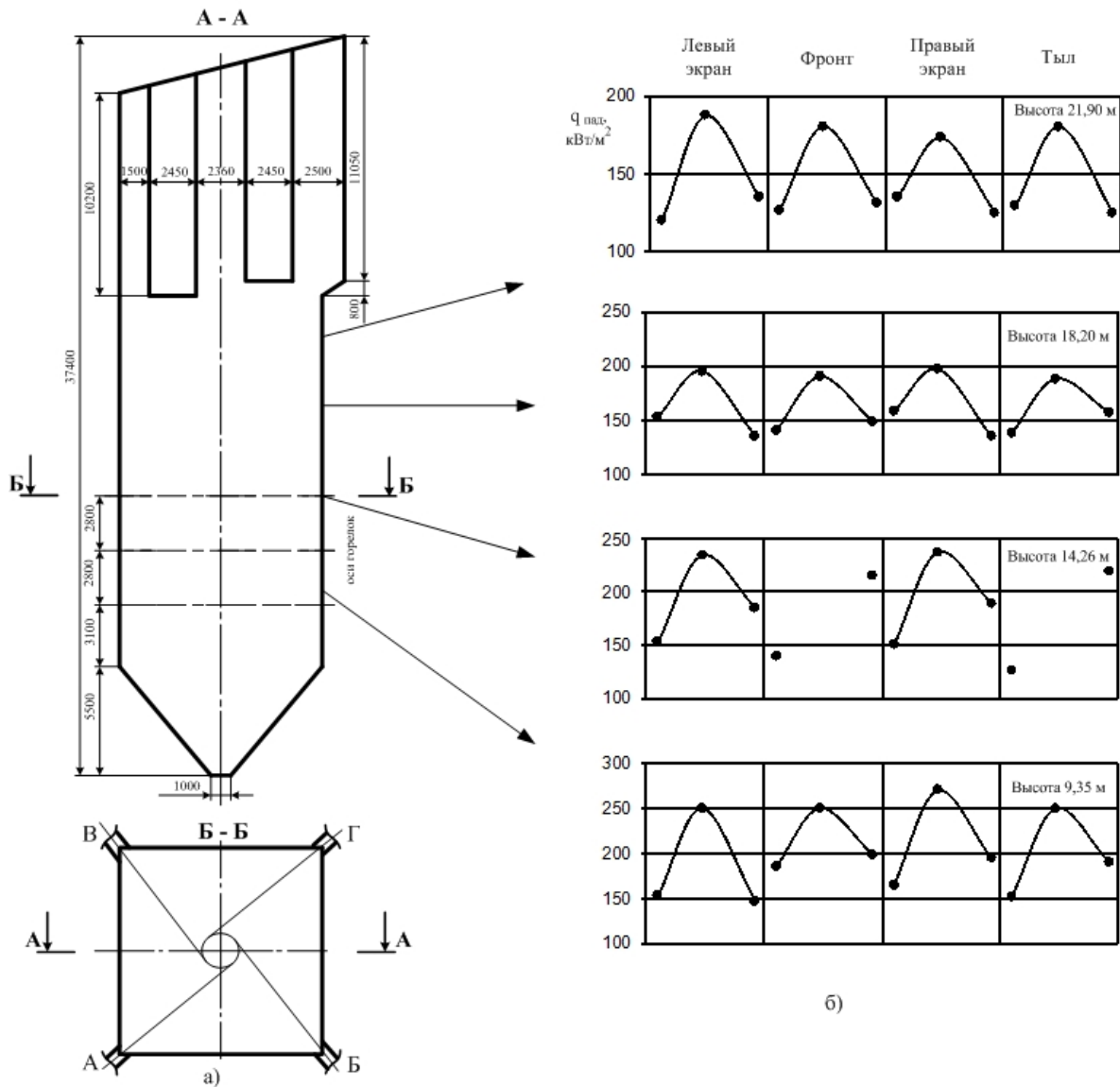


Рис. 1. Топочная камера котла БКЗ-500 (а) и распределение плотности падающих на экраны радиационных потоков при работе четырех пылесистем (б)

Сравнивая результаты распределения плотности падающих радиационных потоков по высоте топочной камеры с аналогичными результатами, полученными на котлах ст. №4 и ст. №5 [7, 8] можно отметить следующее. Максимум тепловых потоков у этих котлов регистрировался на уровне третьего яруса горелок. На котле ст. № 6 максимум практически во всех опытах располагался на уровне первого-второго яруса горелок. Объяснение этому, по-видимому, является то обстоятельство, что на котле ст. №6 распределение топлива по ярусам происходит неравномерно, с большей загрузкой горелок нижних ярусов. Это объясняет некоторую сепарацию наиболее крупных частиц топлива на скаты холодной воронки, а также наброс факела на скаты холодной воронки, что визуально отмечалось в ходе проведения экспериментов.

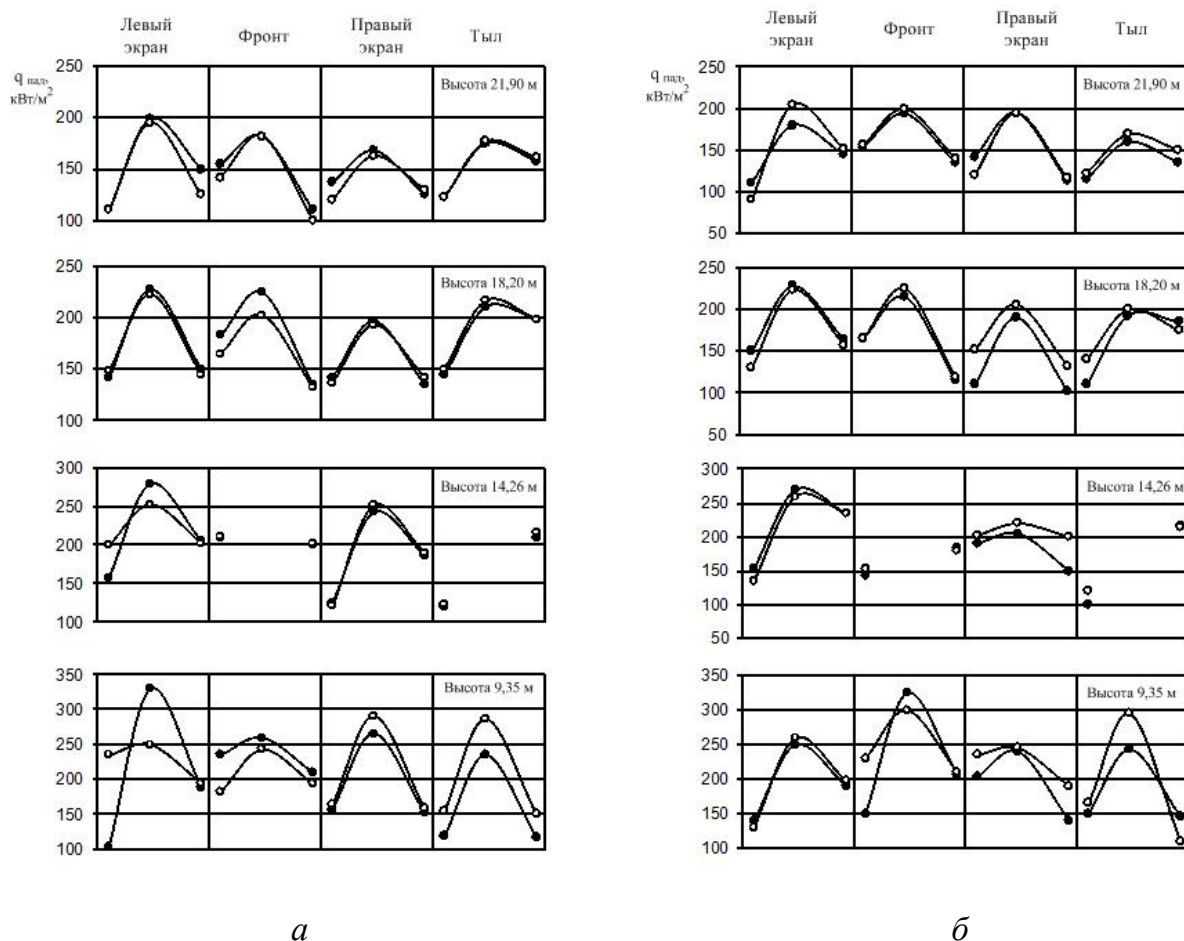


Рис. 2. Распределение плотности падающих на экраны радиационных потоков при отключении пылесистемы А (а) и пылесистемы Б (б): ● — равная загрузка топливом, ○ — перераспределение топлива по работающим пылесистемам

При экспериментах зарегистрированы высокие значения тепловых неравномерностей в горизонтальных сечениях топочной камеры (разница между максимальной и минимальной величиной на одном по высоте уровне в центральных лучках). Максимальный уровень таких неравномерностей отмечен в поясе горелок. Однако их величина менялась в зависимости от сочетания работающих пылесистем. Так наибольшая величина зарегистрирована при отключении пылесистем А и Б и составляла от 90 до 80 кВт/м² (рис.2). Самая низкая тепловая неравномерность отмечена при отключении пылесистемы Г- 42 кВт/м² (рис.3).

Причем, здесь, как и в аналогичных опытах, проведенных на ранее исследованных котлах, положения максимума и минимума тепловых потоков на экранах топки находится в зависимости от сочетания работающих пылесистем. Так, например, при отключении пылесистемы А: максимум $q_{пад}$ расположен на левом боковом экране, а минимум — на тыловом. При отключении пылесистемы Б максимум $q_{пад}$ расположен на фронтальном экране, а минимум — на тыловом. Однако при отключении пылесистемы В максимум $q_{пад}$ смещен как к тылу, так и к правому боковому экранам. А при отключении пылесистемы Г наиболее загружен в тепловом отношении фронт котла.

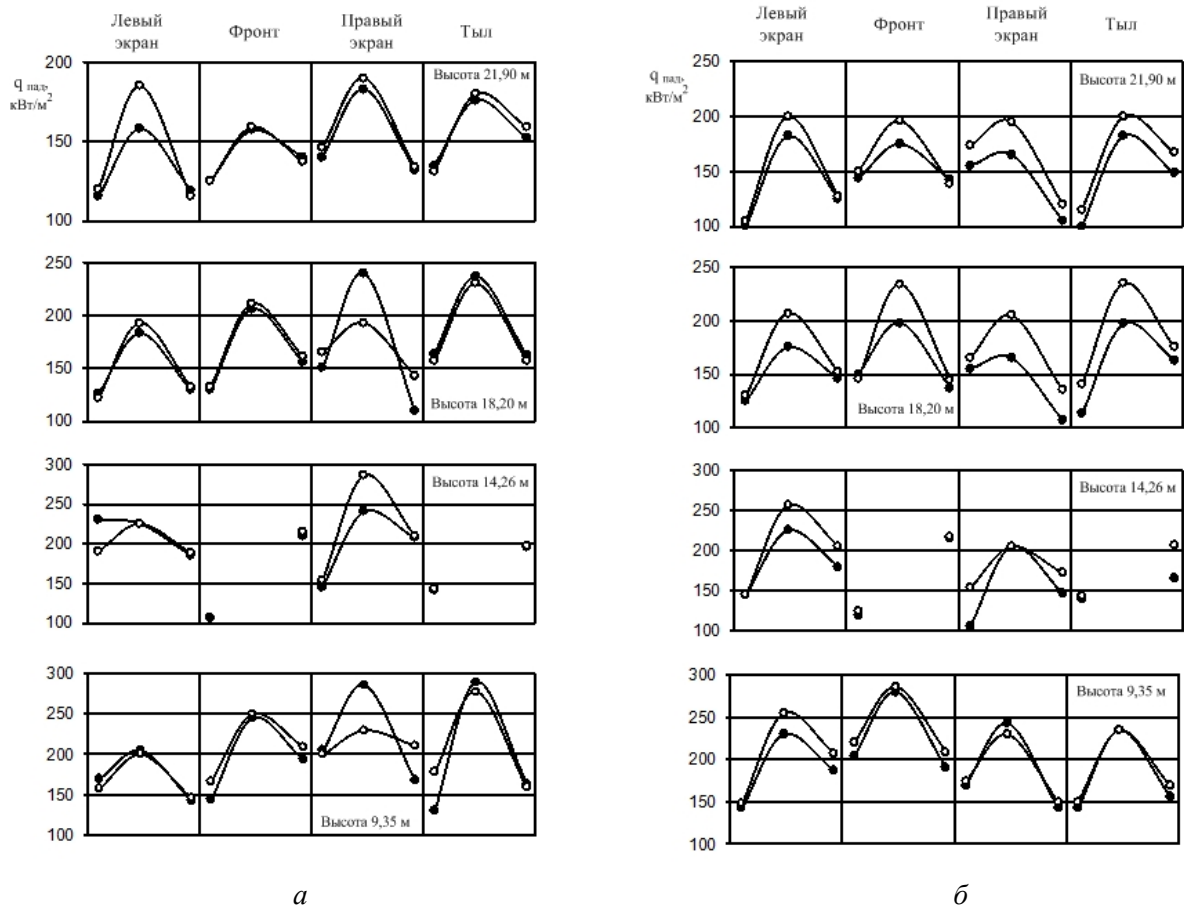


Рис. 3. Распределение плотности падающих на экраны радиационных потоков при отключении пылесистемы В (а) и пылесистемы Г (б): ● — равная загрузка топливом, ○ — перераспределение топлива по работающим пылесистемам

Наличие тепловых неравномерностей сказывается на состоянии экранов, а именно на росте шлакозольных отложений. Здесь необходимо отметить следующее. При эксплуатации котла ст. № 5 при нагрузках 450-460 т/ч даже при отключении одной пылесистемы экраны топки оставались в эксплуатационно-чистом состоянии. При исследованиях котла ст. № 6 в опытах 1 и 2 отмечена подшлаковка левого экрана на уровне первого яруса горелок. Толщина отложений по визуальным наблюдениям составила 50-70 мм. В опыте 3 наблюдался наброс факела на левый экран (остановлена мельница Г), что сопровождалось гребневидными отложениями с толщиной 100-150 мм. Здесь же отмечена подшлаковка углов топки образованных левым экраном и соответственно фронтальным и тыловым экранами на высоте первого яруса горелок.

В опыте 5 и опыте 6 (на следующий день проведения экспериментов) процесс шлакования экранов топки резко интенсифицировался. Толщина отложений увеличилась до 300-350 мм, а их верхняя граница наблюдалась на уровне третьего яруса горелок. Возможно здесь сказалось длительное отключение пылесистемы Б, что сопровождалось максимумами тепловых потоков на фронте и правом экране. После применения средств очистки упавшие вниз отложения повредили механизм шнека системы золошлакоудаления. В опыте 7 замечен локальный очаг шлакования в центре левого экрана на уровне третьего яруса горелок.

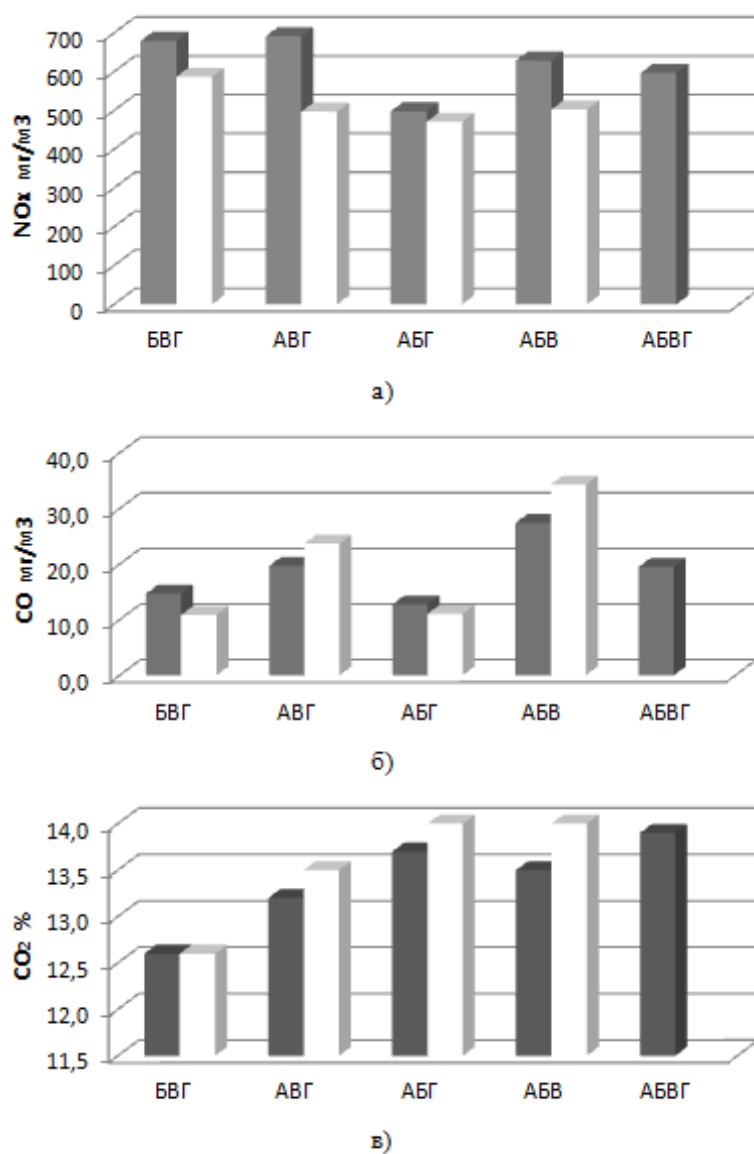


Рис. 4. Состав дымовых газов при равной загрузке топливом пылесистем (■) и при перераспределении топлива по пылесистемам (□): а) концентрация оксидов азота; б) концентрация оксида углерода; в) концентрация диоксида углерода

В опыте 9 (при отключении пылесистемы В) замечен интенсивный рост шлакования в угле, примыкающему к отключенному блоку горелок. Площадь очага шлакования составила около 2 м^2 , а толщина до 400 мм. Кроме того, в центре правого экрана (высота 9,35 м) замечены спекшиеся отложения с толщиной до 200 мм. В этой точке отмечен максимум падающих потоков.

Высокая степень зашлаковки топочной камеры в опытах 3, 4, 5, 6 сказалась на уровне плотности падающих радиационных потоков, когда их величина на 10-15% выше, чем при эксплуатационно-чистых экранах. Такое увеличение температурного уровня в топочной камере привело к росту выхода NO_x в дымовых газах.

Изменение распределения топлива по пылесистемам (при отключении одной из них) выявило следующие особенности. При меньшей нагрузке топливом

пылесистемы расположенной перед отключенной против хода движения топочных газов и при большей нагрузке пылесистемы, расположенной по диагонали тепловая неравномерность в горизонтальном сечении топочной камеры заметно снижается. Например, при отключении пылесистемы А и равной подаче топлива по пылесистемам величина температурной неравномерности составляла 90 кВт/м^2 , а при меньшей нагрузке мельницы В и соответственно большей нагрузке мельницы Б тепловая неравномерность снизилась до 35 кВт/м^2 . Причем в этом случае максимум плотности падающих радиационных потоков снизился с 340 кВт/м^2 до 280 кВт/м^2 , обеспечивая при этом безопасный по условиям шлакования режим работы (максимальная величина $q_{пад}$ при которой начинается интенсивный рост отложений составляет для этого вида топлива $280 \div 300 \text{ кВт/м}^2$).

Аналогичная картина наблюдается при отключении мельницы Б и с разгрузкой по топливу пылесистемы А и загрузкой пылесистемы Г. Здесь также отмечено снижение тепловой неравномерности, причем максимум тепловых потоков снизился с 335 кВт/м^2 до сравнительно безопасного по условиям шлакования уровня ($\sim 300 \text{ кВт/м}^2$).

При изменении загрузки топливом работающих пылесистем котла БКЗ-500 выявлена не отмеченная ранее особенность протекания топочных процессов. Так при анализе результатов измерения состава дымовых газов во всех опытах с перераспределением топлива по пылесистемам уровень концентрации NO_x (результаты приведены к условиям $\alpha=1,4$) в дымовых газах на 4-19% ниже, чем при равной подаче топлива (рис.4). Полученный эффект объясняется снижением температурных максимумов в сечениях топочной камеры, за счет их выравнивания.

Следует также отметить, что применяемое перераспределение топлива в работающие пылесистемы не вызвало значительных изменений содержания CO , а следовательно, не отразилось на величине потерь теплоты с химической неполнотой сгорания.

Выводы

1. В ходе экспериментальных исследований на котле БКЗ-500 ст. № 6 выполнена опытно-промышленная проверка разработанных в ходе математического моделирования предложений по совершенствованию эксплуатационных режимов сжигания топлива. При экспериментах фиксировались плотность падающих радиационных потоков, состав дымовых газов, состав сжигаемого топлива. Кроме того регистрировались показатели режима эксплуатации за счет штатной системы управления.

2. Получено экспериментальное подтверждение результатов зонального математического моделирования о возможности воздействия на аэродинамическую структуру факела путем перераспределения пылеугольной смеси по работающим пылесистемам котла. Указанное совершенствование режима эксплуатации за счет сокращения тепловых неравномерностей в сечениях топочной камеры обеспечивает бесшлаковочные условия несения номинальной производительности и снижение подачи газов рециркуляции на 5-6%. При этом возможен рост на $0,15 \div 0,18\%$ КПД котла.

3. Анализ результатов экспериментальных измерений выявил, что предложенное совершенствование режимов эксплуатации по распределению пылеугольной смеси по работающим пылесистемам котла при отключении одной из них приводит к снижению на 4-19% концентрации NO_x в дымовых газах.

Литература

1. Снижение температурных неравномерностей в объеме тангенциальной топки котла Е-500 / О.Г. Шишканов, И.В. Андруняк // Электрические станции. 2008. № 3. С. 23–28.
2. Расчетно-экспериментальное исследование теплообмена в топке водогрейного котла КВ-ТК-100/ О.Г. Шишканов, И.В. Андруняк// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008, № 3-4. С. 32-40.
3. А.с. №1703913 СССР, МКИ⁵, кл. F23 C9/08. Способ работы вертикальной призматической экранированной топки / О.Г. Шишканов, Ю.А. Журавлев, В.А. Федоров и др. Оpubл. 07.01.92. Бюл. №1.
4. Патент РФ №2324109, МПК⁷, кл. F23 C5/08. Способ работы призматической топки / О.Г. Шишканов. Оpubл. 10.05.2008. Бюл. №13.
5. Патент РФ №2324108, МПК⁷, кл. F23 C5/08. Способ работы вертикальной призматической топки / О.Г. Шишканов. Оpubл. 10.05.2008. Бюл. №13.
6. Патент РФ №2460939, МПК⁷, кл. F23 C5/08. Способ работы тангенциальной топки / О.Г. Шишканов, Л.П. Каменщиков, И.В. Андруняк, Зырянов И.В. Оpubл. 10.09.2012. Бюл. №25.
7. Совершенствование низкотемпературного сжигания канско-ачинских углей / О.Г. Шишканов, Ю.А. Журавлев, С.В. Срывков // Сибирский физико-технический журнал. 1991. № 5. С. 32-38.
8. Экспериментальные исследования режимов сжигания топлива в топочной камере котла Е-500 Красноярской ТЭЦ-2 / О.Г. Шишканов, И.В. Андруняк // Сб. науч. тр.: Минеральная часть топлива, шлакование, загрязнение и очистка поверхностей нагрева / IV научно-практическая конференция. Челябинск: 2007, Т.1. С. 131–139.