ИСПЫТАНИЯ КОТЛА КЕ-20-16-320 С ТОПКОЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ ПРИ СЖИГАНИИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

А.А. Скрябин[*], П.П. Антонов[*], М.А. Шарапов[**], А.М. Сидоров[*]
** - НИЦ ПО«Бийскэнергомаш» г.Барнаул, ** - ЗАО «Бийскэнергомаш» г.Бийск*

Технология сжигания в низкотемпературном кипящем слое является универсальной и применима для большинства видов твердого топлива, включая древесные отходы.

В котельной ЗАО «Пермский фанерный комбинат» эксплуатировался котел КЕ-25-24-350, в котором сжигался мазут. В силу производственной необходимости потребовалась реконструкция котла с переводом на сжигание древесных отходов.

В 2001 г. ЗАО «Бийскэнергомаш» совместно с НИЦ ПО «Бийскэнергомаш» осуществили реконструкцию данного котла под сжигание технологической щепы влажностью до 45% в форсированном низкотемпературном кипящем слое (НТКС).

Примененный способ сжигания отличается от классического пузырькового кипящего слоя малой площадью воздухораспределительной решетки, высокими скоростями ожижения, способствующими разрушению образующихся в слое агломератов, и большей глубиной регулирования нагрузки котла.

В связи с увеличением объемов дымовых газов (при переходе на древесное топливо) номинальная производительность была ограничена величиной 20 т/ч, номинальное давление определено заказчиком 1,6 МПа. В результате котел замаркирован как КЕ-20-16-320 ОГВ (резервное топливо – природный газ).

Характеристика котла

Изменения конструкции котла в основном касались топочного объема. Под топочные блоки котла на опорной раме была установлена топка НТКС, представляющая собой конструкцию с плоской воздухораспределительной решеткой колпачкового типа и воздушным коробом под ней. Решетка выполнена водоохлаждаемой для защиты от высоких температур в период растопки котла.

Подача воздуха под воздухораспределительную решетку производится высоконапорным вентилятором ВДН-8,5х3000 снизу воздушного короба и через растопочное устройство (рисунок 1). При растопке котла воздух подается только через растопочное устройство.

В качестве инертного наполнителя кипящего слоя используется мелкий песок с размером частиц до 2 мм и температурой плавления не менее 1100°С.

Для ввода древесных отходов в топку с фронта котла установлен скребковый питатель топлива. Из питателя топливо попадает в раздающий короб, затем по двум течкам и коробам ввода топлива вводится в зону кипящего слоя. Для более равномерного распределения топлива по длине топки в короба ввода топлива над разгонной плитой через щели шириной 10 мм подается воздух.

Для снижения потерь с химическим и механическим недожогом на котле предусмотрена система острого дутья (вторичного воздуха), которая в верхнем объеме топочной камеры формирует вихрь с горизонтальной осью.

Для снижения потерь с механическим недожогом и уменьшения расхода инертного наполнителя слоя на котле предусмотрена двухступенчатая система возврата уноса. Первая ступень, образующаяся за счет расширения топки в верхней части, улавливает наиболее крупные частицы, вылетающие из кипящего слоя. По наклонным стенам эти частицы скатываются обратно в кипящий слой. Частицы, вынесенные из топочной камеры, улавливаются в конвективном блоке и через золовые бункера и эжекторы открытого типа пневмотранспортом возвращаются в надслоевой объем топочной камеры.

Растопка котла осуществляется прогревом кипящего слоя горячими газами, образующимися при сжигании жидкого (например, дизельного) топлива в растопочном устройстве. Для контроля температуры и высоты кипящего слоя на боковых стенах нижнего объема топочной камеры установлены закладные трубы для установки термопар и датчика уровня слоя.

Для поддержания высоты кипящего слоя в рабочем диапазоне и слива слоя при ремонте топки НТКС на фронтовой стене котла

установлена труба слива с устройством удаления шлака.

Для работы котла на природном газе (резервное топливо) на фронтовой стене установлена горелка ГМ-10 с модернизированной газовой частью.

Основные расчетные показатели работы котла представлены в табл. 1. Продольный разрез реконструированного котла представлен на рисунке 1.

Результаты испытаний

В результате испытаний установлено, что котел КЕ-20-16-320 ОГВ с топкой низкотемпературного кипящего слоя, при условии непрерывной подачи технологической щепы в бункер топлива, обеспечивает расчетные параметры работы: нагрузку - 20 т/ч при избыточном давлении и температуре перегретого пара, соответственно 1,6 МПа и 320°С.

В процессе пусковых операций были определены аэродинамические характеристики воздухораспределительной, подобрана расходная характеристика форсунки растопочного топлива, отработаны режимы растопки котла из холодного состояния, из "горячего" резерва, плановый и аварийный остановы котла в "горячий" резерв.

Результаты обработки данных, полученных при испытании котла на различных нагрузках, даны в табл. 2÷6 и сведены в Таблицу измерений и расчетных данных (табл. 7).

Нагрузка котла изменялась в диапазоне от 11,0 до 20,2 т/ч (55÷101%) при абсолютном давлении перегретого пара 15,6÷16,5 ата и температуре 305÷320°С. КПД брутто котлотлоагрегата на номинальной нагрузке составил 83,88%; на нагрузках до 14,6 т/ч – КПД = 76÷78%.

Пониженная, по сравнению с расчетной, эффективность (КПД котла) сжигания древесных отходов объясняется большими избытками и присосами воздуха. Так, коэффициент избытка воздуха за экономайзером (балансовая точка) составил величину 2,48÷4,00 против $\alpha''_{эк}$ = 1,65 по расчету.

Высокие избытки воздуха на пониженных нагрузках котла объясняются большими присосами воздуха (до 3200 нм^3/ч) в топку через точки топлива. По этой причине, для снижения избытков воздуха в топке, подача вторичного воздуха на поддув топлива и на острое дутье над слоем была прекращена. Такая организация вторичного дутья была рекомендована для всех режимов работы котла.

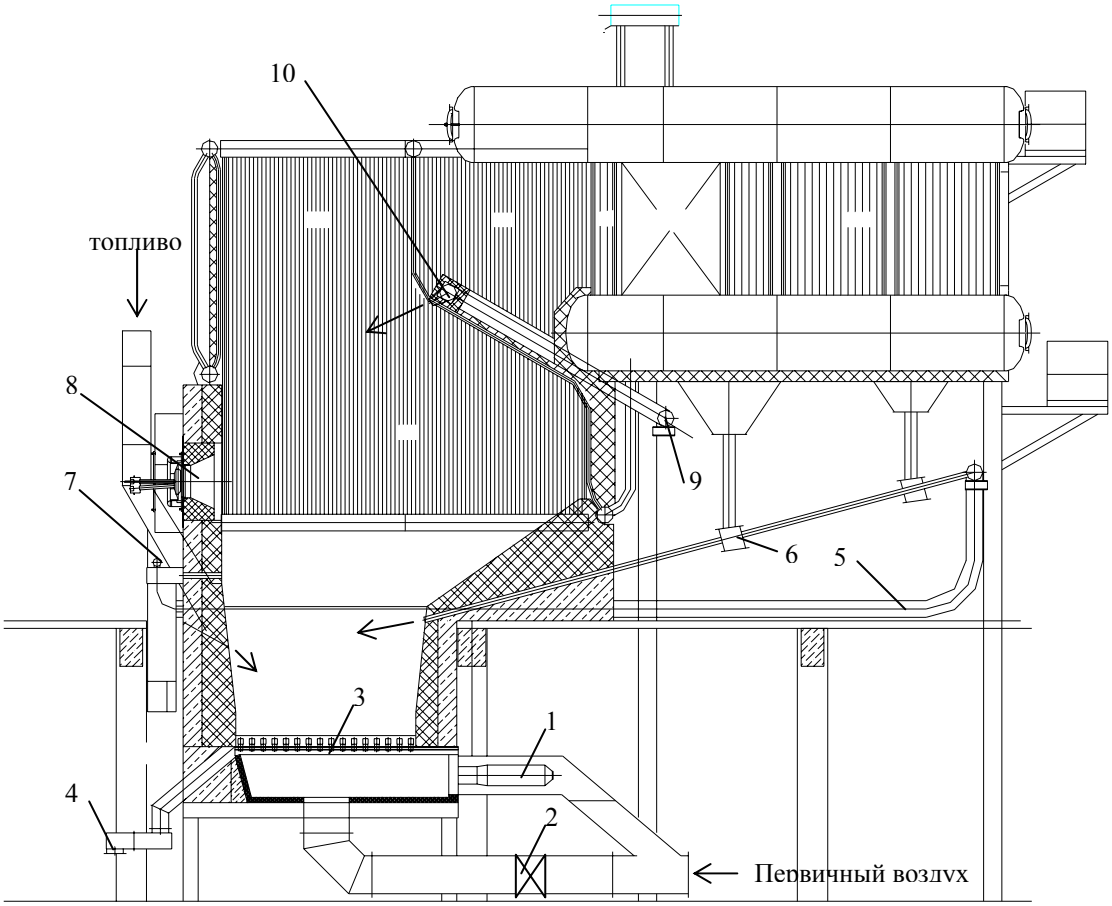
Большие присосы воздуха наблюдались и в экономайзере. В различных опытах они составили величину $\Delta\alpha_{эк}$ = 0,44÷1,67.

Испытанный котел обладает удовлетворительными показателями выброса вредных веществ. На номинальной нагрузке концентрация оксида углерода не превышает 450 мг/нм^3, а оксидов азота – не более 200 мг/нм^3.

Таблица 1

Основные показатели работы котла КЕ-20-16-320 ОГВ

№№ п/п	Наименование параметра	Величина
1.	Характеристика топлива (технологическая щепа) на рабочую массу: - низшая теплота сгорания, ккал/кг - влажность, % - зольность, %	 2470 39,4 0,81
2.	Паропроизводительность котла, т/ч	20,0
3.	Абсолютное давление перегретого пара, (МПа), кг/см^2	(1,6)16,0
4.	Температура перегретого пара, °С	330
5.	Температура питательной воды, °С	104
6.	Температура воздуха в котельной, °С	30
7.	КПД котла брутто, %	87
8.	Полный расход топлива, кг/ч	5874,7
9.	Избыток воздуха за экономайзером	1,65
10.	Избыток воздуха за котлом	1,5
11.	Температура газов за котлом, °С	340
12.	Температура газов за экономайзером, °С	164



1 – растопочная камера; 2 – шибер; 3 – воздухораспределительная решетка; 4 – устройство удаления шлака; 5 – коллектор подачи вторичного воздуха на возврат уноса; 6 – эжектор; 7 - коллектор подачи вторичного воздуха на поддув топлива; 8 – газовая горелка; 9 - коллектор подачи вторичного воздуха на верхнее дутьё; 10 – сопла вторичного дутья.

Рисунок 1 - Котел КЕ-20-16-320 ОГВ с топкой НТКС

В табл. 8 представлены результаты анализа уноса (дисперсный состав и содержание горючих), взятого из-под первого конвективного блока (справа и слева) и из-под санитарных золоуловителей. Содержание уловленных частиц размером меньше 0,1 мм составляет около 45%, а частиц размером менее 0,05 мм – около 15,5%. При этом, общее содержание горючих не превышает 6%. Дисперсный состав уноса из-под конвективного блока указывает на то, что частицы крупнее 0,2÷0,4 мм системой возврата уноса возвращаются в кипящий слой.

В процессе испытаний на котле было осуществлено пробное сжигание коры от окорки сырья. При этом была достигнута производительность котла 11 т/ч при параметрах пара 1,3 МПа и 295°С. Высота слоя составляла около 360 мм и температура около 910°С, давление воздуха над решеткой – около 5,0 кПа. Сжигание коры производилось без подачи вторичного воздуха. Дальнейшее увеличение нагрузки оказалось невозможным из-за конструктивных ограничений пропускной способности питателя топлива, не предназначенного для подачи длинномерного корья.

Таблица измерений и расчетных данных

Таблица 2

№ п/п	Наименование параметра	Ед. изм.	Значения параметров				
			реж. 1	реж. 2	реж. 3	реж. 4	реж. 5
1.	Паропроизводительность	т/ч	11,0	14,2	14,6	17,7	20,2
2.	Давление перегретого пара	МПа	1,57	1,58	1,56	1,60	1,65
3.	Температура перегретого пара	°С	312	310	305	306	320
4.	Температура питательной воды	°С	105	105	105	105	105
5.	Уровень (высота) слоя	мм	280	270	280	270	280
6.	Температура слоя 1	°С	930	945	950	990	1005
7.	Температура слоя 2	°С	970	985	990	1010	1035
8.	Давление воздуха под решеткой	даПа	638	721	746	755	804
9.	Давление вторичного воздуха	даПа	226	226	245	245	245
10.	Давление в топке	даПа	-7,8	-7,4	-7,4	-6,4	-4,9
11.	Температура воды за экономайзером	°С	150	160	164	148	150
12.	Температура газов перед экономайзером	°С	285	312	316	331	340
13.	Температура газов за экономайзером	°С	151	157	159	159	162
14.	Давление газов перед экономайзером	даПа	-46	-44	-44	-43	-44
15.	Давление газов за экономайзером	даПа	-140	-145	-141	-142	-143
16.	Коэффициент избытка воздуха перед экономайзером	-	2,53	2,30	2,33	1,95	2,04
17.	Коэффициент избытка воздуха за экономайзером	-	3,80	3,80	4,00	2,98	2,48
18.	Обороты питателя топлива	об/мин	2,0	2,4	2,5	2,9	3,2
19.	Концентрация CO за котлом	мг/нм^3	347	569	623	562	433
20.	Концентрация NOx за котлом	мг/нм^3	200	196	208	200	194
21.	Содержание горючих в уносе (среднее)	%	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89
22.	Доля уноса золы	-	1	1	1	1	1
23.	Потери тепла с уходящими газами	%	19,03	19,96	21,22	16,42	14,38
24.	Потери тепла с механическим недожогом	%	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
25.	Потери тепла с химическим недожогом	%	0,44	0,72	0,83	0,56	0,36
26.	Потери тепла от наружного охлаждения	%	2,36	1,83	1,78	1,47	1,29
27.	Потери тепла с физическим теплом шлаков	%	0				
28.	Коэффициент полезного действия брутто (по обратному балансу)	%	78,07	77,39	76,08	81,46	83,88
29.	Расход топлива	кг/ч	3593	4671	4867	5573	6173
30.	Удельный расход топлива	кг/Гкал	519	523	532	497	483
31.	Удельный расход условного топлива	кг/Гкал	183	185	188	175	170
32.	Низшая теплота сгорания	ккал/кг	2470				
33.	Зольность рабочая	%	0,81				
34.	Влажность рабочая	%	39,40				

Результаты анализа
дисперсного состава и содержания горючих

Таблица 3

Унос из-под золоуловителя

Фракция, мм	Весовая доля фракции, f_i, %		Остаток на сите R_i, %	
	слева	справа	слева	Справа
2,5	1,65	0,88	1,65	0,88
1,6	0,68	0,41	2,32	1,29
1	0,58	0,54	2,90	1,83
0,63	1,16	0,98	4,07	2,81
0,4	3,58	3,70	7,65	6,51
0,315	3,97	3,73	11,62	10,24
0,2	18,10	16,07	29,72	26,31
0,16	8,23	8,72	37,95	35,02
0,1	18,74	20,64	56,69	55,66
0,063	15,41	17,53	72,10	73,19
0,05	12,29	11,42	84,39	84,61
0	15,61	15,39	100,00	100,00

Общее содержание горючих, % слева - Г = 5,13; справа Г = 2,64

Возврат уноса

Фракция, мм	Весовая доля фракции, f_i, %		Остаток на сите R_i, %	
	слева	справа	Слева	справа
2,5	0,27	4,98	0,27	4,98
1,6	0,33	3,92	0,60	8,90
1	2,28	6,10	2,89	15,00
0,63	36,38	32,10	39,27	47,11
0,4	48,77	30,87	88,04	77,98
0,315	5,18	6,24	93,22	84,22
0,2	4,25	6,56	97,48	90,78
0,16	0,76	1,70	98,24	92,48
0,1	0,93	2,46	99,17	94,94
0,063	0,43	2,13	99,59	97,07
0,05	0,22	1,62	99,81	98,69
0	0,19	1,31	100,00	100,00

Выводы

В результате проведенных испытаний установлено, что котел КЕ-20-16-320 ОГВ при работе на технологической щепе обеспечивает расчетные параметры: нагрузку 20 т/ч, давление и температуру перегретого пара 1,6 МПа и 320°С.

Котел работает стабильно при условии непрерывной подачи щепы (ГОСТ 15815-83) в бункер питателя топлива. При этом, обеспечивается удовлетворительные показатели экономичности (КПД ≈ 84%) и экологические показатели (содержание CO – до 450 мг/нм^3 и NO_x – до 250 мг/нм^3).

В котле допускается сжигание коры от окорки сырья при условии ее дробления до размеров не более 100 мм со снижением номинальной паропроизводительности до 15 т/ч.