POLYTECHNIK®
Biomass Energy

AUSTRIA, 2564 Weissenbach

STAATLICH AUSGEZEICHNETES UNTERNEHMEN

Получение энергии из биомассы

Тепло для помещений - централизованное теплоснабжение - теплофикация- электричество

СЖИГАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В КОТЛОАГРЕГАТАХ С НАКЛОННО-ПЕРЕТАЛКИВАЮЩИМИ КОЛОСНИКОВЫМИ РЕШЕТКАМИ

Современное состояние окружающей среды и перспектива дальнейшего увеличения использования низкокачественных углей уже сейчас заставляют шире использовать виды топлив и технологии производства энергии, которые в наибольшей степени отвечают экологическим требованиям. Это относится, прежде всего, к утилизации отходов производства, нетрадиционным и возобновляющимся источникам энергии. В настоящее время использование биотоплива в электроэнергетике составляет менее 2% и не может решить проблемы защиты окружающей среды от выбросов вредных веществ в масштабах всей страны. Однако применение биотоплива, вместо не возобновляемых первичных энергоресурсов там, где это возможно является обязательным элементом совершенствования ТЭК.

Для снижения себестоимости тепловой энергии, уменьшения влияния факторов внешней среды на устойчивость и стабильность развития предприятия и для комплексного снижения выбросов вредных веществ в окружающую среду руководством ЗАО «Лесозавод 25» было принято решение по строительству котельной, оборудованной двумя водогрейными котлоагрегатами, работающими на кородревесных отходах, образующихся в технологическом цикле предприятия. Выбор котлов для сжигания высоковлажных кородревесных отходов проводился по результатам маркетингового исследования, при этом предпочтение было отдано австрийским котлоагрегатам PR-2500 фирмы POLYTECHNIK Luft- und Feuerungstechnik GmbH. В 2005 году котельная была смонтирована и запущена в работу.

Котлы PR-2500 мощностью по 2,5 МВт каждый, рассчитаны на выработку горячей воды с температурой до 110°С при давлении около 3 кг/см^2, оборудованы топочными камерами с наклоннопереталкивающими колосниковыми решетками HVR-2500, системой позонного ввода первичного воздуха и ступенчатой системой подачи вторичного воздуха. В топочных камерах реализована двухступенчатая схема сжигания топлива. Все процессы технологической схемы котла полностью автоматизированы. Подогрев котловой воды осуществляется в двухходовом по газам теплообменнике горизонтального исполнения, расположенном над топочной камерой. Для очистки от золовых и сажистых отложений котлы оснащены системами пневматической продувки сжатым воздухом дымогарных труб газо-водяных теплообменников. Клапаны систем по очереди, автоматически через 5 минут открываются на 4–10 с, обеспечивая очистку определенной группы дымогарных труб. Газо-водяной теплообменник обеспечивает охлаждение продуктов сгорания до 160–190°С, которые после него поступают в золоулавливающую установку инерционного типа (мультициклоны), а затем в двухходовой по газам и трехходовой по воздуху рекуперативный трубчатый воздухоподогреватель. Воздухоподогреватель обеспечивает подогрев первичного воздуха до 100–120°С и охлаждение уходящих дымовых газов до 120–138°С, которые далее поступают в дымосос и после него направляются в индивидуальную дымовую трубу высотой 20 м. Для снижения эмиссии оксидов азота котлоагрегаты оборудованы системами рециркуляции продуктов сгорания и дополнительными дымососами. Все тягодутьевые установки котлов имеют частотное регулирование производительности.

Котлы POLYTECHNIK Luft- und Feuerungstechnik GmbH позволяют обеспечить наиболее высокую эффективность энергетического использования древесных отходов.

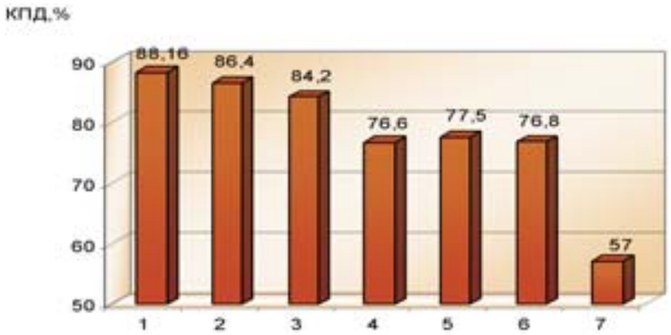

Рис. 1. КПД котлоагрегатов:
1 – PR-2500 при сжигании коры (W^r_t=52,7%);
2 – UR-FRR-6000 при сжигании коры (W^r_t=61,8%);
3 – Danstoker 20 при сжигании смеси (щепа, кора, опилки с W^r_t=40%);
4 – Sermet при сжигании смеси (кора, опилки с W^r_t=49,8%);
5 – КЕ-10-14 при сжигании смеси (опилки, кора с W^r_t=54,4%);
6 – ДКВр-10-13 при сжигании смеси (щепа, опилки с W^r_t=53,1%);
7 – судовой 2-топочный при сжигании кусковой древесины с W^r_t=53,8%.

Энергетическое обследование данных котлов показало, что процесс горения на наклонно-переталкивающей решетке происходит при коэффициенте избытка воздуха меньшем теоретически необходимого ($\alpha_{слоя}$<1), недостающее количество окислителя подается по ходу движения продуктов сгорания за счет вторичного воздуха. Наличие свода, расположенного над колосниковой решеткой, и организация системы движения потоков высокотемпературных топочных газов к зоне термической подготовки высоковлажного топлива, а также наличие системы предварительного подогрева воздуха в воздухоподогревателе значительно повысили надежность и экономичность работы котлов, даже при сжигании коры, содержащей смерзшиеся включения. Кроме того, основной и дополнительный свод увеличивают время пребывания продуктов сгорания в топке, а также обеспечивают дополнительные сепарационные эффекты при развороте потока на 180°. Так, силы инерции, возникающие при развороте потока у фронтовой стены, вызывают сепарацию горящих топливных частиц как в зону начального участка слоя свежего топлива на решетке, создавая микроочаги горения, так и на верхнюю поверхность основного свода. При развороте потока у задней стены происходит дополнительная сепарация твердых частиц. Данные конструктивные и режимные приемы воздействия на процесс горения обеспечили в зонах, обедненных кислородом (в слое, в надслойном пространстве и на горизонтальном участке свода), протекание следующих итоговых гомогенной и гетерогенной реакций разложения оксидов азота:

$2NO+2CO \rightarrow N_2+2CO_2$ (1);

$2C+2NO \rightarrow 2CO+N_2$ (2).

При проведении энергетического обследования в топки котлов подавались древесные отходы, в которых доля коры составляла от 72 до 95%, гранулометрический состав топлива был крайне неоднородный (коэффициент полидисперсности n=0,527...1,106) с большим содержанием крупных фракций (коэффициент, характеризующий крупность состава b=(0,031...6,56)·10^{-4}). Ступенчатая схема сжигания топлива позволила обеспечить высокую полноту выгорания горючих компонент топлива ($C^r_{шл}$=0,29...4,7%, $C^r_{ун}$=5,8...12,5%, K_{CO}≤270 мг/нм^3 при K_{O2}=6%) как при сжигании коры, так и смеси коры с опилом в широком диапазоне изменения расхода организованно подаваемого воздуха. Конструкция наклонно-переталкивающей решетки HVR-2500, состоящей из тринадцати рядов колосников, выполненных из жароупорного хром-легированного стального литья, а также конструкция системы охлаждения рамы решетки обеспечили отсутствие шлаковых наростов и надежную работу установки шлакоудаления. Шлак имел полифракционный состав (n=0,297, b=0,144) и высокую полноту выгорания горючих веществ.

Испытания показали, что системы автоматического регулирования котлоагрегатов PR-2500 фирмы POLYTECHNIK позволяют обеспечить высокую стабильность тепло-аэродинамических процессов. Средний размах колебаний разрежения в топках котлов составил 18...24 кг/м^2. Суммарное сопротивление котла с теплообменником, с золоуловителем и воздухоподогревателем изменялось в диапазоне 52...133 кг/м^2 при изменении нагрузки от 43 до 85% от номинальной.

Исследования гранулометрического состава уноса, уловленного в мультициклонах, показали, что летучая зола данных котлов имеет высокую степень полидисперсности гранулометрического состава (n=0,603) и относится к тонкодисперсным материалам (b=0,063). Значения степени очистки продуктов сгорания, полученные путем отбора проб запыленного потока при изокинетических условиях с применением метода внутренней фильтрации, составили 86,3–88%. Результаты химического анализа золы, образующейся при сжигании древесных отходов, показали, что она богата элементами, необходимыми для повышения плодородия почвы, поэтому ее целесообразно использовать как микроудобрение.

Обработка результатов балансовых опытов показала, что КПД брутто котлоагрегатов PR-2500 изменялся в диапазоне от 83,0 до 88,2%, при этом удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал составлял 161,9...172,8 кг у. т./Гкал, а эмиссии вредных веществ: $Э_{CO}$=24...138 мг/МДж; $Э_{NOx}$=118...156 мг/МДж; $Э_{тв.\ частиц}$= 41,4...57,4 мг/МДж. Испытания показали, что данные котлы имеют резерв для дальнейшего снижения эмиссии оксидов азота и оксида углерода, а также повышения КПД путем соответствующей настройки системы автоматического регулирования и перераспределения воздушных потоков с учетом изменения теплотехнических характеристик сжигаемого топлива.

В. К. ЛЮБОВ, профессор кафедры ПТЭ Архангельского государственного технического университета, д.т.н., член научного совета СЗО РАН по горению и взрыву

Реализация проекта по энергетическому использованию древесных отходов на Цигломенском участке ЗАО «Лесозавод 25» позволила уменьшить выбросы: SO_2 на 187,4 т/год; CO на 21 т/год; NO_x на 6,2 т/год; CO_2 на 10667 т/год.

Результаты сравнительного анализа значений КПД брутто, полученных при проведении энергетических обследований некоторых импортных и отечественных котлов (рис. 1) показали, что котлоагрегаты PR-2500 фирмы POLYTECHIK позволяют обеспечить наиболее высокую эффективность энергетического использования древесных отходов. ■

ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

СДЕЛАН СЛЕДУЮЩИЙ ВАЖНЫЙ ШАГ

Экологическая политика в сфере энергообеспечения предусматривает стимулирование производства и потребления топлива и энергии с помощью технологий, улучшающих здоровье населения и состояние окружающей среды; вовлечение в топливно-энергетический баланс возобновляемых источников энергии и особенно отходов производства в целях уменьшения негативного влияния энергетической деятельности на окружающую среду и сохранения для будущих поколений невозобновляемых энергоресурсов.

Для снижения себестоимости тепловой энергии, уменьшения влияния факторов внешней среды на устойчивость и стабильность развития предприятия, а также для комплексного снижения выбросов вредных веществ в окружающую среду на Цигломенском участке ЗАО «Лесозавод 25» в 2005 году была смонтирована и запущена в эксплуатацию котельная, оборудованная двумя водогрейными котлоагрегатами фирмы POLYTECHNIK Luft- und Feuerungstechnik GmbH, работающими на кородревесных отходах, образующихся в технологическом цикле предприятия.

Здание котельной (размером в плане 18 Ч 17 м) имеет два склада топлива (4,8 Ч 33,2 м) и оборудовано автоматической системой топливоподачи. Топливо с помощью выдвижных толкателей подается в промежуточные резервуары, из которых с помощью гидравлических переталкивающих механизмов поступает на колосниковые решетки топочных камер. Для сжигания высоковлажных кородревесных отходов были установлены австрийские котлоагрегаты PR-2500 фирмы POLYTECHNIK Luft- und Feuerungstechnik GmbH.

Данные котлы, мощностью по 2,5 МВт каждый, рассчитаны на выработку горячей воды с температурой до 1100С при давлении около 3 кг/см^2, оборудованы топочными камерами с наклонно-переталкивающими колосниковыми решетками HVR-2500, системой позонного ввода первичного воздуха, ступенчатой системой подачи вторичного воздуха и автоматической системой управления всеми процессами технологической схемы. В топочных камерах реализована двухступенчатая схема сжигания топлива. Кроме того, для дополнительного снижения выбросов оксидов азота котлоагрегаты оборудованы системами рециркуляции продуктов сгорания и дополнительными дымососами. Все тягодутьевые установки котлов имеют частотное регулирование производительности (частотные преобразователи).

В котельной Цигломенского участка ЗАО «Лесозавод 25» для теплоснабжения производственных потребителей и отопления цехов используется двухконтурная система, в которой для передачи теплоты от рабочей среды первого контура к рабочей среде второго установлены два (один резервный) пластинчатых теплообменника мощностью 5 МВт каждый. Тепловые нагрузки с учетом потерь составляют 3,8 МВт на сушку пиломатериалов и 1,2 МВт на отопление.

Для комплексной оценки эффективности работы установленного оборудования в ноябре – декабре 2005 года было проведено энергетическое обследование котельной.

При проведении обследования в топки котлов подавались древесные отходы, в которых доля коры составляла от 72 до 95%, а гранулометрический состав топлива был крайне неоднородный с большим содержанием крупных фракций. Результаты балансовых опытов показали, что КПД брутто котлоагрегатов PR-2500 изменяется в диапазоне от 83,0 до 88,2% при нагрузках 43–85% от номинальной, удельный расход условного топлива на выработку 1 ГДж составляет 38,-64–41,24 кг у. т./ГДж, а эмиссии вредных веществ: ЭСО=24–138 мг/МДж; ЭNOx=118-156 мг/МДж и Этв.. частиц=-41,4–57,4 мг/МДж. Реализация проекта по энергетическому использованию древесных отходов на Цигломенском участке ЗАО «Лесозавод 25» позволила уменьшить выбросы сернистого газа на 187,4 т/год, оксида углерода на 21 т/год, оксидов азота на 6,2 т/год и углекислого газа на 10667 т/год.

Энергетическое обследование показало, что котлоагрегаты PR-2500 имеют резерв для дальнейшего снижения эмиссии оксидов азота и оксида углерода, а также повышения КПД путем соответствующей настройки системы автоматического регулирования и перераспределения воздушных потоков с учетом изменения теплотехнических характеристик сжигаемого топлива.

Важным параметром, определяющим эффективность работы энергооборудования, является его способность длительно и надежно работать с номинальными нагрузками при широком диапазоне изменения теплотехнических и гранулометрических характеристик сжигаемого топлива. Поэтому был выполнен анализ работы котельной за период с ноября 2005 по апрель 2006 годов. Графики изменения среднесуточной нагрузки котлоагрегатов за наиболее холодный период 2005–2006 годов приведены на рис. 1, из которого видно, что котлоагрегаты PR-2500 способны длительно обеспечивать не только номинальную мощность, но и в случае необходимости теплопроизводительность выше номинальной. Максимальная среднесуточная тепловая мощность, достигнутая на котлоагрегате №2, составила 2,9 МВт, а на котле №1–2,8 МВт.

Характеристики сжигаемых древесных отходов изменялись в широком диапазоне, который для влажности (на рабочую массу) составлял W^r_t=4-

Таблица 1. Некоторые результаты испытаний водогрейных котлов PR-2500 при вводе в эксплуатацию

№	Наименование величины	Обозначение, размерность	Котел № 1			Котел № 2		
			Опыт № 1	Опыт № 7	Опыт № 8	Опыт № 1	Опыт № 5	Опыт № 6
1	Теплопроизводительность	Q, МВт	1,85	1,34	1,08	1,72	1,81	2,12
2	Избыточ. давл. воды на выходе	$P_в$, кг/см2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
3	Температура воды на входе	$t_{вх}$, °С	90,0	96,0	98,0	99,2	96,0	94,8
4	Температура воды на выходе	$t_{вых}$, °С	103,8	106,0	106,1	111,0	108,9	109,9
5	Влажность топлива	W^r_t, %	53,27	52,74	52,74	53,27	52,74	52,74
6	Зольность топлива	A^r, %	1,13	1,67	1,67	1,13	1,67	1,67
7	Теплота сгорания	Q^r_r, МДж/кг	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37
8	Температура первичного воздуха	$t_{гв}$, °С	100	104	104	101	102	101
9	Температура вторичного воздуха	$t_{вт}$, °С	26	28	29	26	28	29
10	Температура уходящих газов	$\vartheta_{ух}$, °С	139	135	131	128	129,4	130
11	Избыток воздуха в ух. газах	$\alpha_{ух}$	1,83	1,50	1,43	1,64	2,14	1,59
12	Потери теплоты с ух. газами	q_2, %	10,53	5,41	5,30	8,80	9,61	7,91
13	с химнедожогом	q_3, %	0,03	0,04	0,02	0,03	0,18	0,05
14	с мехнедожогом	q_4, %	0,14	0,11	0,09	0,13	0,13	0,11
15	от наружного охлаждения	q_5, %	4,59	6,16	7,61	4,95	4,57	3,90
16	КПД котла брутто	$\eta_{бр}$, %	84,65	88,16	86,87	86,01	85,40	87,93
17	Расход древесных отходов	$B_{др}$, т/ч	1,07	0,742	0,61	0,973	1,033	1,176
18	Эмиссия NO_x	NO_x, г/МДж	0,121	0,129	0,132	0,118	0,131	0,156
19	Эмиссия СО	СО, г/МДж	0,024	0,044	0,026	0,030	0,138	0,050

9,3–61,8%, при этом низшая теплота сгорания изменялась в интервале Q^r_i=5,52–8,15 МДж/кг.

Крайне суровая и затяжная зима вызывала смерзание высоковлажных древесных отходов, при поступлении которых в топки котлов требовались дополнительные затраты энергии на перевод смерзшейся внешней влаги из одного агрегатного состояния в другое. Данные обстоятельства, а также наличие в биотопливе крупномерных включений древесины (чурок, досок, отходов торцовки/раскряжевки) и инородных примесей (песка, камней, металла и других) ставили в очень жесткие условия работы системы топливоподачи и котлы в целом. Поэтому диапазон изменения среднесуточной температуры воды на выходе из котлоагрегатов в зимние месяцы составил $t_{в.\ прям}$=90–110°С.

Конструкция наклонно-переталкивающей решетки HVP-2500, состоящей из тринадцати рядов колосников, выполненных из жароупорного хромлегированного (содержание хрома >20%) стального литья, а также конструкция системы охлаждения рамы решетки обеспечили отсутствие шлаковых наростов и надежную работу установки шлакоудаления при высокой полноте выгорания горючих веществ в очаговых остатках ($C^r_{шл}$≤11%, $C^r_{ун}$≤17%) даже при сжигании смерзшихся и некондиционных древесных отходов.

Системы пневматической продувки сжатым воздухом дымогарных труб газо-водяных теплообменников горизонтального исполнения работали надежно и обеспечили эффективную работу поверхностей нагрева во всем диапазоне изменения тепловых нагрузок.

Установка золоуловителей (RGE) инерционного типа в газовых трактах котлов до рекуперативных трубчатых воздухоподогревателей (LUVO) не только обеспечила высокую степень очистки продуктов сгорания (ψз.у.=86–88%), но и повысила эффективность и надежность работы воздухоподогревателей. Подогрев первичного воздуха составлял 100–1300С, при этом обеспечивалось охлаждение уходящих дымовых газов до 110–1400С.

Система водоподготовки для подпитки первого контура производительностью 2 м³/ч оснащена системой автоматического управления и состоит из двух фильтров обезжелезивания (GENO-mat FE-Z), умягчительной установки серии GENO-mat duo WF, дозировочного насоса Genodos и системы Reflex Variomat, обеспечивающей поддержание стабильного давления в контуре и дегазацию системы. Все элементы системы водоподготовки работали достаточно стабильно, при этом значение pH для воды первого контура составляло 7–7,5, а жесткость и содержание железа на всех режимах работы установки не превышали 0,8 мг-экв/л и 0,4 мг/л соответственно.

Таким образом, результаты энергетических обследований и анализ работы энергетических котлоагрегатов PR-2500 австрийской фирмы POLYTECHNIK Luft- und Feuerungstechnik GmbH в период суровой и затяжной зимы 2005–2006 годов позволили сделать вывод, что они имеют наиболее высокие технико-экономические и экологические показатели из всех теплогенерирующих установок Архангельской области, работающих на биотопливе, и способны длительно обеспечивать не только номинальную мощность, но и производительность выше номинальной.

Успешный опыт сотрудничества ЗАО «Лесозавод 25» группы компаний «Титан» и австрийской фирмы POLYTECHNIK Luft- und Feuerungstechnik GmbH позволил перейти к разработке и реализации до конца 2006 года следующего проекта – строительство мини-ТЭЦ на древесных отходах. Данное направление энергетического использования древесных отходов является наиболее перспективным, т.к. позволяет реализовать все преимущества комбинированной выработки тепловой и электрической энергии, обеспечить минимальную себестоимость энергии и энергетическую независимость предприятия от внешних источников энергии.

На основной площадке ЗАО «Лесозавод 25» группы компаний «Титан» реализуется следующая технологическая схема: биотопливо, в основном кора, сжигается в топках паровых котлоагрегатов мощностью 2 х 7,5 МВт, вырабатывающих перегретый пар ($P_{п.\ п}$=2,4 МПа, $t_{п.\ п}$=4250С), который поступает в противодавленческую турбину – номинальная производительность на клеммах генератора 2,2 МВт. Реализация данного проекта позволит обеспечить (на 80% и более) потребность завода в электроэнергии, ликвидировать угольную котельную, расположенную в автотранспортном цехе, и получить максимальный экологический эффект. Данный проект полностью соответствует положениям Киотского протокола к Конвенции ООН об изменении климата на Земле.

В. К. ЛЮБОВ,
д. т.н., профессор кафедры ПТЭ Архангельского государственного технического университета, член научного совета СЗО РАН по горению и взрыву

НА ПУТИ К ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Развитие современной цивилизации ведет к все более возрастающему потреблению энергии: по прогнозам аналитиков, к 2020 году ее потребление в мире составит около 6•10⁸ ТДж. С ростом энергопотребления обостряются мировые проблемы, обусловленные ограниченными запасами ископаемого топлива, неравномерностью их распределения по регионам мира и ухудшением экологического состояния планеты.

Возобновляемые источники энергии, важнейшим из которых является энергия, аккумулированная в растительности, могут сыграть существенную роль в решении энергетических проблем.

Успешное использование отходов, образующихся на предприятиях лесопромышленного комплекса при заготовке, обработке и переработке древесного сырья, возможно только на основе надежного и отвечающего современным требованиям теплогенерирующего и вспомогательного оборудования, предназначенного для работы на этом виде низкокачественного топлива.

В Архангельской области, особенно богатой древесными отходами, оборудование фирмы Polytechnik Luft und Feuerungstechnik GmbH появилось в 2004 году. Это водогрейная котельная с двумя котлами мощностью по 2,5 МВт, смонтированная на Цигломенском участке ЗАО «Лесозавод 25». Высокие эколого-экономические показатели оборудования Polytechnik позволили расширить рамки сотрудничества, следующим этапом которого стало строительство ТЭЦ с двумя паровыми котлоагрегатами по 7,5 МВт и турбиной мощностью 2,2 МВт. Энергообследования установленных котлоагрегатов показали, что у них самые высокие эколого-экономические показатели из всех теплогенерирующих установок нашего региона, работающих на древесном топливе, в составе которого доминирует кора.

Расширение и развитие энергетического комплекса ЗАО «Лесозавод 25» и строительство цеха по производству древесных гранул стали продолжением политики формирования внутреннего рынка гранул, и наиболее важным шагом в этом направлении было строительство и запуск в эксплуатацию котельной с тремя водогрейными котлоагрегатами мощностью по 4 МВт фирмы Polytechnik, работающими на древесных гранулах.

Здание котельной (размер 30,0 × 20,0 м) оборудовано системой топливоподачи. Для обеспечения эксплуатационного запаса топлива рядом с котельной смонтирован вертикальный цилиндрический резервуар вместимостью 209 м³. Древесные гранулы поступают в приемный топливный бункер, из которого разгрузочным шнеком подаются на элеватор.

Элеватор производительностью 200 м³/ч рабочей шириной 0,5 м обеспечивает загрузку гранул в резервуар, уровень заполнения которого контролируется датчиком, а сброс избыточного давления воздуха осуществляется с помощью специального клапана. Стенки резервуара изготовлены из оцинкованных стальных модулей, для его обслуживания смонтированы лестницы. Нижняя часть резервуара выполнена в виде конусной системы выгрузки и оборудована шестилопастным питателем, с помощью которого гранулы поступают в промежуточную емкость, степень заполнения которой контролируется оптическим датчиком. Дальше с помощью транспортного

шнека гранулы направляются в помещение котельной, где разделительным шнеком распределяются по трем котлам.

В системе подачи топлива каждого котла установлен лопастной дозатор с оснащенной оптическими датчиками промежуточной емкостью, из которой гранулы поступают на шнековый питатель, лопасти которого выполнены из износостойкого материала. Шнековый питатель каждого котла имеет систему защиты от обратного возгорания топлива, которая срабатывает при повышении температуры поверхности шнека более 65°С.

Питатель котлоагрегата подает гранулы в профилированную подовую область топки, встроенную в конструкцию наклонно-переталкивающей решетки, где через зазоры колосников, выполненных из жаропрочного материала с содержанием хрома более 30%, проходит первичный воздух, пронизывающий слой топлива.

Топка оборудована наклонно-переталкивающей колосниковой решеткой HVR, состоящей из 14 рядов колосников, из них пять рядов, расположенных в первой зоне, имеют по восемь колосников, так как центральную часть занимает профилированная полость горелочного устройства со шнековой подачей топлива. Остальные девять рядов наклонно-переталкивающей решетки имеют по 29 колосников. Над последним рядом колосников и поперечным шнеком, удаляющим очаговые остатки, поступающие с решетки и из-под нее, на задней стене сделан выступ арочного типа из огнеупорных материалов.

Рама колосниковой решетки имеет систему охлаждения, в которую с помощью циркуляционного насоса производительностью 15 м^3/ч подается вода температурой не менее 70° С. В обмуровке боковых стен топочной камеры над колосниковой решеткой организованы четыре «фотобарьера» для контроля высоты слоя топлива на ней.

Под колосниковой решеткой с помощью перегородок организованы три зоны с индивидуальным подводом в них с одной стороны – первичного воздуха, а с другой – рециркулирующих продуктов сгорания после основного дымососа. При этом во все зоны подается воздух, забираемый из помещения котельной.

Котлоагрегат оборудован двумя линиями рециркуляции, в каждую из них с помощью индивидуального дымососа рециркуляции RRV с частотным преобразователем направляются отработанные газы, забираемые из газохода после основного дымососа. Под колосниковую решетку газы рециркуляции подаются позонно с помощью дымососа с электроприводом мощностью 3 кВт.

Воздух на вторичное дутье забирается из помещения котельной и с помощью вентилятора рассредоточенно вводится в топочную камеру через сопла цилиндрической формы. Вторичный воздух обеспечивает дожигание горючих компонентов топлива, позволяет минимизировать образование оксидов азота и определяет уровень концентрации кислорода в дымовых газах на выходе из котла.

Над наклонно-переталкивающей решеткой производится ввод газов рециркуляции через сопла цилиндрической формы с помощью индивидуального дымососа.

Мелкодисперсная зола, просыпающаяся через зазоры колосников, с помощью толкающей штанги перемещается к поперечному транспортеру, а крупнодисперсная зола и шлак поступают на него непосредственно с колосниковой решетки.

Стены топочной камеры выполнены из жароупорного шамотного кирпича, для увеличения времени пребывания дымовых газов в ней установлен один промежуточный свод. В обмуровке топки предусмотрены температурные швы, обеспечивающие компенсацию температурных расширений шамота в процессе растопки котла. Температурный уровень обмуровки топочной камеры контролируется с помощью термопар в трех точках по ходу движения продуктов сгорания. Четвертая термопара размещена перед входом дымовых газов в поворотную камеру котла и обеспечивает контроль температуры продуктов сгорания на выходе из камеры догорания.

Для сжигания гранулированного древесного топлива в котельной п. Катунино установлены три австрийских водогрейных котлоагрегата фирмы Polytechnik Luft und Feuerunqstechnik GmbH, оборудованные индивидуальными дымовыми трубами высотой 28 м и диаметром 0,63 м. Котельная оснащена автоматической системой управления всеми процессами технологической схемы.

Номинальная мощность котлоагрегатов при работе на древесных гранулах составляет 4,0 МВт. Котлы рассчитаны на выработку горячей воды давлением не более 6 бар и температурой до 110°С.

Водяной объем котлоагрегата – 7,05 м^3. У котлов два контура, при этом в первом с помощью насоса производительностью 135 м^3/ч циркулирует химически очищенная вода. Система водоподготовки включает: установки GENO-mat FE-Z для удаления железа и марганца; установки умягчения воды GENO-mat duo WF и дозирующие установки GENODOS. Расчетный температурный режим для рабочей среды первого контура составляет 100/80°С.

Нагрев сетевой воды второго контура (70/95°С) осуществляется с помощью двух пластинчатых теплообменников. На обратной линии теплосети установлены (параллельно) три циркуляционных насоса и один подпиточный насос.

В топочных камерах котлоагрегатов реализована трехступенчатая схема сжигания топлива, для дополнительного снижения выбросов оксидов азота и продления жизненного цикла колосников и обмуровки они оборудованы двумя системами рециркуляции продуктов сгорания. Изменением расхода рециркулирующих газов обеспечивается поддержание оптимальной температуры в топочной камере. Все тягодутьевые установки котлоагрегатов имеют частотное регулирование производительности.

Котлоагрегаты оборудованы двухходовыми дымогарными газоводяными теплообменниками, расположенными горизонтально, вдоль продольной оси, непосредственно над камерами догорания. Продукты сгорания, совершив два хода в каналах топочной камеры, поступают в поворотную камеру (максимальная температура на входе составляет 950°С), в которой разворачиваются и проходят по дымогарным трубам первого хода (194 шт.). В поворотной камере у задней стены котлоагрегата они разворачиваются на 180° и проходят по дымогарным трубам второго хода (168 шт.), двигаясь к фронтовой стенке. Суммарная поверхность нагрева котла составляет 245 м^2.

Котлы фирмы Polytechnik оборудованы необходимыми средствами безопасности, обеспечивающими их защиту от закипания рабочей среды, и предохранительными клапанами. Система автоматического регулирования обеспечивает: требуемое соотношение «топливо – воздух», заданный уровень разрежения в топке и концентрации кислорода в продуктах сгорания, поддержание температуры воды на выходе из котла в соответствии с установленной.

Каждый котел оборудован комплексным щитом управления с автоматическими предохранителями и автоматикой управления, обеспечивающим визуализацию параметров работы всех трактов. Система автоматики предусматривает пять ступеней регулирования нагрузки котла и предполагает ее постепенное изменение от 1-й к 5-й и наоборот.

После газоводяного теплообменника котла дымовые газы поступают в мультициклон, где очищаются от твердых частиц, которые поступают в сборный контейнер, герметично фиксируемый к выпускному патрубку золоуловителя.

Для очистки от золовых частиц внутренних поверхностей дымогарных труб, котлоагрегат оборудован системой пневмообдувки. Эта система состоит из баллона со сжатым воздухом, поступающим к группе клапанов, управляемых электронным модулем. Каждый котел оснащен 44 клапанами, которые по очереди автоматически открываются, обеспечивая очистку определенной группы труб поверхности нагрева.

Для комплексной оценки эффективности работы установленного оборудования в апреле 2012 года было проведено энергетическое обследование. В ходе него было проведено десять опытов при различных режимах работы котлоагрегатов № 2 и 3 и один балансовый опыт на котле № 1. При проведении обследования в топки котлов подавались древесные гранулы с ЗАО «Лесозавод 25», качественные показатели которых соответствовали требованиям международных стандартов. Влажность древесных гранул на рабочую массу при проведении энергетического обследования составляла W_t^r = 5,82…6,83%; зольность A^r = 0,62…0,64%; а низшая теплотворная способность Q^r_i = 17,23…17,46 МДж/кг. Механическая прочность гранул имела довольно высокие значения (*DU* = 98,47%). Таким образом, теплотехнические, гранулометрические и прочностные характеристики сжигаемых гранул являются приемлемыми для котлоагрегатов с топочными камерами данного типа и удовлетворяют всем требованиям европейских стандартов.

При выполнении работ по комплексному энергетическому обследованию были проведены:

- осмотр оборудования котельной и изучение технической документации;
- тарировка газоходов и воздуховодов;
- проверка показаний штатных КИП по разрежению в топках котлов, температуре газов перед золоуловителями, содержанию кислорода в продуктах сгорания за котлом;
- проверка аэродинамической плотности золоуловителей;
- исследование эффективности работы золоуловителей;
- исследование теплотехнических и гранулометрических характеристик топлива и очаговых остатков;
- балансовые опыты;
- анализ технико-экономических и экологических характеристик работы котлов.

Балансовые опыты проводились в соответствии с требованиями, предъявляемыми к промышленно-эксплуатационным испытаниям второй категории сложности. При исследовании состава продуктов сгорания использовался газоанализатор Testo-350XL. Для определения расходов дымовых газов использовалась пневмометрическая трубка системы ВТИ и микроманометр цифрового типа Comark. Расход воздуха определялся с помощью прецизионного прибора Testo-435.

Теплотехнический анализ древесных гранул проводился установками лаборатории комплексного термического анализа топлива и калориметра IKA C2000 basic Version 2.

Механическая прочность и истираемость гранулированного топлива определялись в соответствии со стандартом EN 15210-1 с использованием портативного тестера NHP 100 фирмы Holmen (лигнотестера).

Исследование гранулометрического состава топлива и очаговых остатков проводилось с помощью анализаторов «029» и ВС 1С-15-01. Температура наружных поверхностей основного и вспомогательного оборудования котлов определялась пирометром. Обработка экспериментальных данных по исследованию работы котлоагрегатов проводилась многомодульным программно-методическом комплексом.

Балансовые опыты на котлоагрегатах № 2 и 3 были проведены в диапазоне нагрузок от 42 до 90% от номинальной, при этом температура воды на выходе из котлов изменялась в диапазоне $t_в$ = 65,5...77,0°С. Диапазон

№ 7 (89) 2012 ЛЕСПРОМ ИНФОРМ

возможного изменения нагрузки котлов был ограничен потребностями в тепловой энергии объектов п. Катунино. Полный расход древесных гранул в исследованном диапазоне нагрузок на котлах № 2 и 3 составлял 0,412...0,843 т/ч.

Результаты балансовых опытов показали, что конструкция котлоагрегатов и система автоматического регулирования режимов их работы обеспечивают высокую полноту выгорания монооксида углерода даже при повышенных коэффициентах избытка воздуха в топочных камерах. Концентрация угарного газа составляла K_{CO} = 9…270 мг/нм^3 (при K_{O2} = 6%), а потери теплоты с химическим недожогом топлива изменялись в диапазоне q_3 = 0...0,16%. КПД брутто составил: $\eta_{ка}$ = 86,7…89,6% для котлоагрегата № 3 и $\eta_{ка}$ = 89,00…89,82% для котла № 2 (см. табл.).

Температура воды на входе в котлоагрегаты № 2 и 3 была стабильной и составляла $t_{пв}$ = 58,2...60°С, что позволяло обеспечить достаточно глубокое охлаждение дымовых газов, так, температура продуктов сгорания перед золоуловителями в исследованном диапазоне нагрузок составляла 130,3…188,4°С.

Температура обмуровки топочных камер при проведении обследования не превышала 701° С, при этом наблюдался рост температуры по ходу газов (от 1-й термопары к 3-й). Температура продуктов сгорания на выходе из камеры догорания котла № 3 составляла 825…870°С, а у котлоагрегата № 2 – 872…896°С, что существенно ниже допустимой.

Анализ уровня скоростей газового потока в газоводяном теплообменнике котла показал, что средняя скорость газа в исследованном диапазоне нагрузок при совершении I хода составляла 7,14…14,88 м/с; при совершении II хода снижалась до 5,1…10,85 м/с. При расчете скорости продуктов сгорания снижение их температурного уровня рассчитывалось пропорционально поверхности нагрева I и II ходов. Более высокие значения скорости продуктов сгорания характерны для котла № 2.

Суммарное сопротивление котлоагрегата с газоводяным теплообменником изменялось в диапазоне: 300…787 Па – для котла № 2 и 130…430 Па – для котлоагрегата № 3. Более высокое

сопротивление газового тракта котла № 2 объясняется большей нагрузкой и долей рециркуляции продуктов сгорания.

Исследования гранулометрического состава летучей золы, уловленной в золоуловителях, показали, что у нее высокая степень полидисперсности гранулометрического состава (n = 0,66…0,681) и она относится к тонкодисперсным материалам (b = 0,1153…0,0837). В летучей золе преобладает фракция с размером частиц менее 45 мкм, на которую приходится более 72% (по массе) для котла № 3 и более 63% – для котлоагрегата № 2.

У очаговых остатков, отобранных из сборных бункеров, установленных за колосниковыми решетками, был полидисперсный гранулометрический состав (n = 1,426…1,797) значительно большей крупности (b = 0,0000286…0,000129), чем у летучей золы. При этом в их составе преобладают фракции с размером частиц 125 ≤ δ < 500 мкм, на которые приходится 73,59% по массе в котле № 3 и 70,65% – в котлоагрегате № 2. У очаговых остатков с колосниковой решетки котлоагрегата № 2 более мелкофракционный состав.

При отборе запыленного потока из газоходов до золоуловителя и перед дымовой трубой использовались стандартные фильтровальные патроны. Отбор запыленного потока проводился при изокинетических условиях, при

Результаты испытаний котлоагрегатов, п. Катунино

Наименование величины	Обозначение, размерность	Котел № 2			Котел № 3		
		Опыт № 2	Опыт № 4	Опыт № 5	Опыт № 1	Опыт № 2	Опыт № 3
Производительность	Q, МВт	2,93	3,52	3,65	3,25	2,97	2,49
Рабочее давление воды на выходе	$P_в$, МПа	0,33	0,33	0,33	0,35	0,35	0,35
Температура воды на входе	$t_{вх}$, °С	59,4	59,5	59,9	59,7	59,9	60,0
Температура воды на выходе	$t_{вых}$, °С	73,1	75,9	77,0	73,8	72,7	70,7
Влажность топлива	W_t^r, %		5,82			6,83	
Зольность топлива	A^r, %		0,64			0,62	
Выход летучих веществ	V^{daf}, %		84,97			84,64	
Низшая теплота сгорания	$Q^r_ч$, МДж/кг		17,46			17,23	
Доля вторичного воздуха	$r_{вт}$, %	65,6	67,1	71,9	70,6	68,6	73,5
Разрежение в топке	$S_т$, Па	106	93	53	100	110	100
Сопротивление котла	$ΔS_к$, Па	484	727	787	430	390	350
Температура уходящих газов	$ϑ_{ух}$, °С	169,0	184,3	188,4	165,0	162,0	153,0
Избыток воздуха в уходящих газах	$α_{ух}$	1,50	1,46	1,45	1,83	1,56	1,87
Потери теплоты: с уходящими газами	q2, %	7,23	7,94	8,12	8,49	7,11	7,81
с химнедожогом	q3, %	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01
с мехнедожогом	q4, %	0,18	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16
от наружного охлаждения	q5, %	3,15	2,56	2,45	2,82	3,11	3,81
КПД котла брутто	$η_{бр}$, %	88,06	89,30	89,21	88,50	89,60	88,20
Полный расход топлива	B, т/ч	0,677	0,813	0,843	0,764	0,693	0,588
Теплонапряжение объема топки	q_v, кВт/м^3	202,05	242,71	251,71	225,30	204,28	173,41
Эмиссия NOx	NO_x, мг/МДж	70	88	79	112	81	101
Эмиссия CO	CO, мг/МДж	15	12	16	5	4	10

этом использовались данные предварительно проведенных тарировок. Время отбора в каждом сечении составляло 20 минут. Для измерения и регулирования расхода, отбираемых продуктов сгорания применялось аспирационное устройство типа ПУ-4Э. Выполненные исследования позволили определить степень очистки дымовых газов при их прохождении через золоуловитель и систему отбора газов в линии рециркуляции.

Максимальная суммарная степень очистки продуктов сгорания была получена для котла № 3 и составила 79,84%. Для котлоагрегата № 2 суммарная степень очистки дымовых газов составила 79,45%. Наличие в золе большого количества мелких фракций с размером частиц менее 45 мкм позволяет сделать вывод о высокой сепарационной способности элементов газовых трактов котлов.

Анализ условий тепловой работы котлоагрегатов № 2 и 3 показал, что потери теплоты с уходящими газами изменялись в диапазоне q_2 = 5,94…8,49%. Однако есть резерв для дальнейшего уменьшения данных потерь за счет дополнительной настройки системы автоматики и снижения коэффициента избытка воздуха и доли рециркуляции газов в топочные камеры.

Потери теплоты с механической неполнотой сгорания составили q_4 = 0,16…0,18%; а с физической теплотой шлака – q_6 ≤ 0,02%. Низкий уровень потерь с механической неполнотой сгорания объясняется наличием системы позонного распределения воздуха, ступенчатой схемы подачи окислителя, повышенной сепарационной способностью топочной камеры и низкой зольностью древесных гранул в период проведения обследования. Эти факторы обеспечили высокую полноту выгорания углеродной основы топлива ($C^r_{шл}$ = 12,00…13,71%, $C^r_{ун}$ = 11,28…11,96 %).

Конструкция наклонной переталкивающей решетки, а также системы охлаждения ее рамы обеспечила отсутствие шлаковых наростов и надежную работу установки шлакоудаления. У полученного шлака был полифракционный мелкодисперсный гранулометрический состав.

Высокое качество обмуровочных и теплоизоляционных материалов, а также наличие охлаждаемых каналов позволили обеспечить для исследованного диапазона нагрузок невысокие потери теплоты от наружного охлаждения (см. табл.). Организация полезного использования теплоты, полученной воздухом в каналах охлаждения обмуровки, позволила повысить КПД брутто данных котлов не менее чем на 1,3%.

КПД брутто котлоагрегатов изменялся в диапазоне от 86,25 до 89,60% при нагрузках 42…90% от номинальной. Удельный расход условного топлива на выработку 1 ГДж составил 38,05…39,53 кг у.т./ГДж, а эмиссии вредных веществ: $Э_{CO}$ = 4…76 мг/МДж и $Э_{NOx}$ = 81…112 мг/МДж.

Энергетическое обследование показало, что дополнительная настройка системы автоматического регулирования котлов № 1–3 для реализации в полном объеме преимуществ ступенчатой схемы сжигания позволит повысить КПД брутто до значений, характерных для мазутных котлоагрегатов, находящихся в хорошем техническом состоянии.

Запуск в эксплуатацию в п. Катунино котельной с тремя водогрейными котлоагрегатами мощностью по 4 МВт фирмы Polytechnik, работающими на древесных гранулах, явился не только важным шагом в формировании внутреннего рынка облагороженного биотоплива, но и позволил внести значительный вклад в снижение техногенного воздействия объектов энергетики на окружающую среду за счет вывода из эксплуатации старой мазутной котельной.

Комплекс исследований, выполненных на котлоагрегатах фирмы Polytechnik, показал, что эти котлы позволили получить наименьшие эмиссии оксидов азота и монооксида углерода из всех теплогенерирующих установок региона, работающих на биотопливе.

В. К. ЛЮБОВ,
заведующий кафедрой ПТЭ Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова, д-р техн. наук, профессор, зам. директора по научной работе Института энергетики и транспорта САФУ

На правах рекламы

№ 7 (89) 2012 ЛЕСПРОМ ИНФОРМ

МИНИ-ТЭЦ: РЕАЛЬНО И ЭФФЕКТИВНО

БЫВШИЕ ОТХОДЫ ИДУТ В ДЕЛО

Важнейшим вопросом, стоящим перед отечественной энергетикой, является модернизация и замена морально устаревшего и физически изношенного оборудования, доля которого с каждым годом увеличивается.

ЛИБО КОПТИТЬ НЕБО, ЛИБО ПРИНОСИТЬ ДОХОД

Энергетические установки, которые обеспечивают развитие нашей цивилизации, являются, к сожалению, одними из основных загрязнителей атмосферы оксидами серы и азота, бензопиреном, твердыми частицами, а их вклад в выбросы диоксида углерода, вызывающего парниковый эффект, можно признать основным.

Одним из направлений снижения выбросов вредных веществ в атмосферу установками топливно-энергетического комплекса следует считать замену невозобновляемых видов топлива – углей и мазутов на возобновляемые виды биотоплива. Поэтому в развитых индустриальных странах для уменьшения воздействия «парниковых» газов на климат планеты активно поощряется замена ископаемого топлива биотопливом.

Успешное энергетическое использование отходов, образующихся при переработке древесного сырья, возможно только на основе надежного и отвечающего современным требованиям теплогенерирующего и вспомогательного оборудования, предназначенного для работы на этом виде низкокачественного топлива.

На ЗАО «Лесозавод 25» на протяжении многих лет успешно ведутся работы по комплексному повышению эффективности энергетического использования некондиционных древесных отходов. При этом на протяжении последних пяти лет эти работы проводятся совместно с австрийской фирмой Polytechnik Luft und Feuerungstechnik GmbH.

Первым итогом плодотворного сотрудничества явилось строительство котельной на Цигломенском участке ЗАО «Лесозавод 25», оборудованной двумя австрийскими водогрейными котлоагрегатами PR-2500 фирмы Polytechnik, работающими на кородревесных отходах, образующихся в технологическом цикле предприятия. Результаты энергетических обследований и анализ работы утилизационно-энергетических котлоагрегатов PR-2500 в период суровой и затяжной зимы 2005–2006 годов позволили сделать вывод, что они имеют очень высокие (комплексные) технико-экономические и экологические показатели, способны длительно обеспечивать не только номинальную мощность, но и в случае необходимости производительность выше номинальной.

В 2008 году на ЗАО «Лесозавод 25» реализован второй значительный этап программы комплексного использования древесного сырья: закончен монтаж и запущена в работу ТЭЦ, позволяющая производить в 5–6 раз более дешевую, чем получаемую от ОАО «АГК», тепловую и электрическую энергию за счет использования древесных отходов. Данное направление энергетического использования некондиционных древесных отходов является наиболее перспективным, так как позволяет реализовать преимущества комбинированной выработки тепловой и электрической энергии и обеспечивает значительное уменьшение зависимости предприятия от внешних источников энергии.

ДОХОД В РАЗРЕЗЕ

Здание ТЭЦ (размером в плане 36,3×34,6 м) имеет два склада топлива (7,2×11,7 м каждый) и оборудовано системой автоматической топливоподачи. Топливо с помощью толкателей подается на поперечные транспортеры QF 1340, которыми транспортируется в загрузочную шахту FS 1400. Уровень топлива в загрузочной шахте контролируется фотоэлектрическими датчиками, для защиты от обратного возгорания она оснащена тепловой и электрической защитами. Из шахты топливо поступает на толкатель SS 1400, который обеспечивает его транспортировку через загрузочное устройство на колосниковую решетку топочной камеры.

Для сжигания высоковлажных кородревесных отходов на ТЭЦ ЗАО «Лесозавод 25» установлены австрийские котлоагрегаты PRD-7500 фирмы Polytechnik Luft- und Feuerungstechnik GmbH, оборудованные индивидуальными дымовыми трубами высотой 30 м. ТЭЦ оснащена автоматической системой управления всеми процессами. Котлоагрегаты PRD-7500 мощностью 7,5 МВт каждый рассчитаны на выработку перегретого пара давлением 2,4 МПа с температурой 420°С. Их номинальная паропроизводительность составляет 9,5 т/ч. Перегретый пар поступает в противодавленческую турбину, номинальная электропроизводительность которой 2,2 МВт.

В топочных камерах котлоагрегатов используется трехступенчатая схема сжигания топлива. Для дополнительного снижения выбросов оксидов азота и повышения надежности работы колосниковых решеток они оборудованы двумя системами рециркуляции продуктов сгорания и дополнительными дымососами. Все тягоподдувные установки котлов имеют частотное регулирование производительности.

Топка оборудована наклонно-переталкивающей колосниковой решеткой HVR-7500, состоящей из 27 рядов колосников, при этом 13 из них подвижные. Каждый ряд состоит из 45 колосников, выполненных из жароупорного хром-легированного стального литья (содержание хрома > 30%). В обмуровке боковых стен над колосниковой решеткой расположены четыре фотоэлектрических барьера для контроля высоты слоя топлива на ней.

Под колосниковой решеткой с помощью перегородок созданы три зоны с индивидуальным подводом в них, с одной стороны, первичного воздуха, а с другой – рециркулирующих продуктов сгорания после воздухоподогревателя. При этом в две первые зоны подается горячий воздух после воздухоподогревателя (LUVO), а в третью – воздух, прошедший по охлаждающим каналам, выполненным в обмуровке котлоагрегата. Котлоагрегат PRD-7500 оборудован двумя линиями рециркуляции, в одну из них с помощью дымососа рециркуляции направляются отработанные газы после воздухоподогревателя, а в другую с помощью второго дымососа рециркуляции – продукты сгорания из камеры очищенного газа золоуловителя. Под колосниковую решетку газы рециркуляции подаются позонно.

Воздух на вторичный поддув забирается из верхней части помещения ТЭЦ и с помощью двух вентиляторов вводится в объем топочной камеры рассредоточенно через сопла (36 шт.) цилиндрической формы. Вторичный воздух обеспечивает дожигание горючих компонентов топлива и позволяет минимизировать образование оксидов азота. Над соплами вторичного воздуха расположены сопла для ввода газов рециркуляции, отбираемых после золоуловителя. Последняя ступень регулирования состава и температуры продуктов сгорания выполнена из двух вертикальных рядов сопел, расположенных над первым промежуточным сводом.

Мелкодисперсная зола, просыпающаяся через зазоры колосников, с помощью толкающей штанги перемещается к поперечному транспортеру, а крупнодисперсная зола и шлак поступают на него непосредственно с колосниковой решетки.

Стены топочной камеры выполнены из огнеупорной шамотной обмуровки, для увеличения времени пребывания дымовых газов в ней установлено два промежуточных свода. При этом у второго имеется специальный турбулизирующий выступ, интенсифицирующий сепарацию крупных фракций золы и частиц недогоревшего топлива на горизонтальный участок первого свода, расположенный у задней стены котлоагрегата. Топочное устройство выложено высокотемпературным жароупорным шамотным кирпичом с запальными арками и каналами для пламени. Этот способ высокотемпературных запальных сводов гарантирует минимальный выброс вредных веществ и представляет собой результат многолетних исследований фирмы.

В обмуровке топки предусмотрены температурные швы, обеспечивающие компенсацию температурных расширений шамота в процессе растопки котла. Для продления жизненного цикла шамотной обмуровки необходимо соблюдать температурные графики растопки котлоагрегата и его охлаждения, а также обеспечивать периодическую чистку. Чем стабильнее режим работы котлоагрегата и меньше его остановов, тем продолжительнее жизненный цикл обмуровки.

Температурный уровень обмуровки топочной камеры контролируется с помощью термопар в четырех точках по ходу циркуляции продуктов сгорания. Пятая термопара размещена перед входом дымовых газов в поворотную камеру котла и обеспечивает контроль температуры продуктов сгорания на выходе из топочной камеры.

Котлоагрегаты оборудованы двухходовыми дымогарными газо-водяными теплообменниками, расположенными горизонтально, вдоль продольной оси, непосредственно над топочными камерами. Продукты сгорания, совершив три хода в каналах топочной камеры, поступают в водоохлаждаемую поворотную камеру, в которой

разворачиваются на 90° и проходят по дымогарным трубам первого хода (41 шт.), выполненным из стали 15Мо3. В поворотной камере у задней стены котлоагрегата они разворачиваются на 90° и, двигаясь вниз, омывают трубы пароперегревателя.

В конструкции конвективного пароперегревателя реализована схема многократноперекрестного тока при общем противотоке, компоновка коридорная. Поверхность нагрева пароперегревателя составляет 133 м², для регулирования температуры перегретого пара он оборудован охладителем впрыскивающего типа SPID. Линия подачи воды в пароохладитель оснащена сетчатым фильтром с максимальным размером ячеек сетки 0,1 мм. Проектная температура пара во входном коллекторе 240 °С, а в выходном 420 °С. При этом дымовые газы охлаждаются с 670 до 513 °С (при номинальной нагрузке).

После пароперегревателя продукты сгорания по двум газоходам возвращаются в верхнюю часть котла и после поворота совершают второй ход по 280 дымогарным трубам, двигаясь к фронтальной стенке котлоагрегата.

Котел оборудован предохранительными клапанами, воздушником, регулятором уровня воды. Для поддержания требуемого уровня солесодержания имеет непрерывную и периодическую продувки. Продувочная вода поступает в расширитель продувки. Тепловая изоляция котла выполнена из минеральной ваты (δ = 200 мм), которая снаружи покрыта металлической обшивкой.

После котла дымовые газы с температурой 315 °С (при номинальной нагрузке) поступают в газораспределительную камеру экономайзера PRH-7500, из которой по 351 трубе движутся вниз, охлаждаясь до 175 °С. Поверхность нагрева экономайзера составляет 398 м². Подвод воды осуществляется в нижнюю часть корпуса, а ее отвод – из верхней части, максимальная температура подогрева воды составляет 220 °С.

После экономайзера дымовые газы поступают в батарейный циклон, где очищаются от твердых частиц, которые по системе автоматического золоудаления поступают в сборные контейнеры, из которых регулярно выводятся. Очищенный газ поступает в рекуперативный трубчатый воздухоподогреватель LUVO 7500, в котором, совершая два хода, обеспечивает подогрев первичного воздуха. Воздухоподогреватель выполнен из 398 труб, имеющих шахматную компоновку.

При движении газов в трубчатом воздухоподогревателе происходит дополнительная сепарация зольных частиц. Уловленные зольные частицы из-под экономайзера, золоуловителя и воздухоподогревателя с помощью шнеков направляются в поперечный транспортер.

Для очистки от золовых частиц поверхностей дымогарных труб котла, труб пароперегревателя, водяного экономайзера и воздухоподогревателя котлоагрегат оборудован системой пневмообдувки. Эта система состоит из баллона со сжатым воздухом, из которого воздух поступает к группе клапанов, управляемых электронным модулем. Клапаны по очереди автоматически открываются, обеспечивая очистку определенной группы труб поверхности нагрева.

Для комплексной оценки эффективности работы установленного оборудования в апреле-августе 2008 года было проведено энергетическое обследование ТЭЦ. При проведении обследования в работе находились оба котлоагрегата, при этом их паропроизводительность изменялась в диапазоне от 40 до 93 % от номинальной, а температура перегретого пара $t_{пп}$ = 388...405 °С. Выработка электроэнергии турбоагрегатом ТЭЦ составляла 1,1...1,5 МВт. Диапазон возможного изменения нагрузки котлоагрегатов был органичен технологическими потребностями ЗАО «Лесозавод 25».

ОВЧИНКА ВЫДЕЛКИ СТОИТ

По словам главного энергетика ЗАО «Лесозавод 25» А. Шурыгина, во время балансовых испытаний при пусконаладочных работах вырабатываемая мощность котлоагрегатов составляла 9–9,5 МВт с каждой установки, при этом с турбогенератора снималась электрическая мощность до 2,5 МВт. Стоит также отметить, что не было задержек с регистрацией оборудования в Управлении по технологическому и экологическому надзору по Архангельской области Ростехнадзора. Фирмой Polytechnik Luft und Feuerungstechnik GmbH своевременно было получено разрешение Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору на применение на паровой котел высокого давления (тип PRD-7.500), перегреватель, экономайзер и относящееся к ним оборудование.

В ходе энергетического обследования проведено шестнадцать балансовых опытов при различных режимах работы котлоагрегатов, при этом в топки котлов подавались несортированные древесные отходы, в составе которых преобладала кора. Доля коры в биотопливе составляла от 74 до 94%, гранулометрический состав топлива был крайне неоднородный, с большим содержанием крупных фракций.

Влажность древесных отходов (W – содержание воды) на рабочую массу изменялась в диапазоне W_t^r = 51,7...59,7 %, зольность A_r = 0,81...2,18 %, а низшая теплотворная способность = 6,13...7,84 МДж/кг.

Результаты балансовых опытов показали, что конструкция котлоагрегатов и система автоматического регулирования режимов их работы обеспечивают высокую полноту выгорания монооксида углерода, концентрация которого составляла $К_{CO}$ = 38...186 мг/нм³ (при $К_{O2}$ = 6 %). Потери теплоты с химическим недожогом топлива изменялись в диапазоне: q_3 = 0,03...0,11 % для котла №1 и q_3 = 0,02...0,04 % для котлоагрегата №2 (см. табл.).

Температура воды на входе в экономайзеры котлоагрегатов была стабильной tпв = 101...104 °С, что позволяло обеспечить ее дегазацию и достаточно глубокое охлаждение дымовых газов. Так, температура продуктов сгорания после водяных экономайзеров составляла 161...181 °С.

Установка золоуловителей инерционного типа в газовых трактах котлоагрегатов до рекуперативных воздухоподогревателей не только обеспечила высокую степень очистки продуктов сгорания ($ψ_{з.у}$ = 88,6...90,2%), но и повысила эффективность и надежность работы воздухоподогревателей. Температура воздуха на выходе из воздухоподогревателей изменялась в диапазоне 110...128 °С, при этом продукты сгорания охлаждались до 119...138 °С.

Суммарное сопротивление котлоагрегата с газоводяным теплообменником, пароперегревателем, водяным

Наименование величины	Обозначение	Размерность	Котел № 1		Котел № 2	
			Опыт № 10	Опыт № 11	Опыт № 13	Опыт № 14
Паропроизводительность (мощность)	$D_{п.п}$ (N)	т/ч (МВт)	5,9 (4,56)	7,4 (5,73)	4,3 (3,37)	6,1 (4,79)
Избыточное давление перегретого пара	$P_{п.п}$	МПа	2,54	2,52	2,6	2,6
Температура перегретого пара	$t_{п.п}$	°С	388	389	401	403
Избыточное давление питательной воды	$P_{п.в}$	МПа	3,05	3,01	3,09	3,06
Температура питательной воды	$t_{п.в}$	°С	103,3	103,3	101,1	101,3
Влажность топлива	W_t^r	%	59,66	59,66	59,66	59,66
Зольность топлива	A^r	%	2,18	2,18	2,18	2,18
Теплота сгорания	Q^r_i	МДж/кг	6,13	6,13	6,13	6,13
Температура первичного воздуха на входе в 1- и 2-ю/в 3-ю зоны	$t_{1,2/3}$	°С	110/76	113/76	114/97	116/96
Температура газов до и после водяного экономайзера	$ω_{эк}'/ω_{эк}''$	°С	267/163	267/163	270/176	272/180
Температура газов до и после воздухоподогревателя	$ω_{вп}/ω_{ух}$	°С	162/138	161/138	171/119	173/121
Избыток воздуха в уходящих газах	$α_{ух}$	–	1,52	1,50	1,86	1,72
Потери теплоты:						
с уходящими газами	q_2	%	9,77	9,69	9,29	9,01
с химнедожогом	q_3	%	0,03	0,06	0,02	0,04
с мехнедожогом	q_4	%	0,50	0,50	0,38	0,38
от наружного охлаждения	q_5	%	2,3	1,84	3,10	2,19
КПД котла брутто	$η_{бр}$	%	87,24	87,75	87,04	88,22
Полный расход древесных отходов	$B_{др}$	т/ч	3,047	3,802	2,255	3,161
Эмиссия NO_x	NO_x	мг/МДж	203	201	236	222
Эмиссия CO	CO	мг/МДж	31	67	22	41

экономайзером, золоуловителем и воздухоподогревателем изменялось в диапазоне: 168...200 кг/м² – для котла №1 и 136...150 кг/м² – для котлоагрегата №2. При этом сопротивление отдельных элементов составляло: 44...59 кг/м² – котла с газоводяным теплообменником и пароперегревателем; 24...41 кг/м² – водяного экономайзера; 32...42 кг/м² – золоуловителя; 36...58 кг/м² – воздухоподогревателя.

Исследования гранулометрического состава очаговых остатков, отобранных из сборных бункеров котлов, показали, что они имеют высокую степень полидисперсности гранулометрического состава (n = 0,778...0,854) и относятся к тонкодисперсным материалам (b = 0,0129...0,0215).

Анализ условий тепловой работы котлоагрегатов показал, что потери теплоты с уходящими газами изменялись в диапазоне q_2 = 9,01...10,38%. Однако имеется резерв для дальнейшего уменьшения данных потерь за счет дополнительной настройки системы автоматики и снижения коэффициента избытка воздуха в топочных камерах.

Конструкция наклонно-переталкивающей решетки HVP-7500 и системы охлаждения ее рамы обеспечили отсутствие шлаковых наростов и надежную работу установки шлакоудаления при высокой полноте выгорания горючих веществ в очаговых остатках ($C^r_{шл}$ = 2,8...3,8 %, $C^r_{ун}$ = 4,6...5,7 %). Потери теплоты с механической неполнотой сгорания составили q_4 = 0,38...0,50 %, а с физической теплотой шлака – $q_6 \leq$ 0,16 %.

Высокое качество обмуровочных и теплоизоляционных материалов позволило обеспечить для исследованного диапазона нагрузок невысокие значения потерь теплоты от наружного охлаждения (q_5 = 1,84...3,71%).

КПД брутто котлоагрегатов PRD-7500 изменялся в диапазоне от 86,71 до 88,22 % при нагрузках 40...93 % от номинальной. Удельный расход условного топлива на выработку 1 ГДж составил 38,64...39,31 кг у. т/ГДж, а эмиссии вредных веществ: $Э_{CO}$ = 21...102 мг/МДж; $Э_{NOx}$ = 201...243 мг/МДж и $Э_{тв.\ частиц}$ = 52,4...55,9 мг/МДж.

Реализация проекта по энергетическому использованию древесных отходов для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии на основной площадке ЗАО «Лесозавод 25» позволила уменьшить выбросы вредных веществ: сернистого газа на 524,7 т/год, оксида углерода на 58,8 т/год, оксидов азота на 14,8 т/год и углекислого газа на 29867 т/год, а также обеспечила потребности завода в электрической энергии на 65–70 % (при полной загрузке цехов).

Энергетическое обследование показало, что котлоагрегаты PRD-7500 имеют резерв для дальнейшего снижения эмиссии оксидов азота, а также повышения КПД, достигаемый путем дополнительной настройки системы автоматического регулирования с учетом изменения теплотехнических характеристик сжигаемого топлива. Установка воздушного конденсатора повысит маневренность оборудования ТЭЦ и выработку электроэнергии.

Таким образом, результаты энергетических обследований и анализ работы котлоагрегатов PRD-7500 фирмы Polytechnik Luft und Feuerungstechnik GmbH в течение 7 месяцев 2008 года позволили сделать вывод, что они имеют наиболее высокие технико-экономические и экологические показатели из всех теплогенерирующих установок Архангельской области, работающих на биотопливе, и способны обеспечивать не только номинальную мощность, но и в случае необходимости производительность выше номинальной. Реализованный проект полностью соответствует положениям Киотского протокола к Конвенции ООН об изменении климата на планете. ■

В. К. ЛЮБОВ,
заведующий кафедрой ПТЭ
Архангельского государственного
технического университета,
д. т. н., профессор, член научного совета СЗО
РАН по горению и взрыву

ЩЕПКИ – В ДЕЛО

ОДИН ИЗ КРУПНЕЙШИХ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТЧИКОВ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ НАЧАЛ ОСНАЩЕНИЕ БИОТОПЛИВНЫМИ КОТЛАМИ

ООО «Амурская лесопромышленная компания» (АЛК) – одно из предприятий лесопромышленного холдинга RFP Group, участвующее в реализации стратегического инвестиционного проекта «Строительство Дальневосточного центра глубокой переработки древесины» в городе Амурске Хабаровского края. В 2009 году проекту был присвоен статус приоритетного в области освоения лесов.

Программа предусматривает поэтапный запуск с 2008 по 2018 год комплекса лесоперерабатывающих заводов, организованных по принципу безотходного производства с совокупным объемом переработки 6 млн м^3 в год.

Первый завод – по производству лущеного шпона мощностью 300 тыс. м^3 в год – был введен в эксплуатацию в 2012 году. В настоящее время ведется строительство завода по производству сухих пиломатериалов мощностью 230 тыс. м^3 в год и реконструкция плитного производства мощностью 50 тыс. м^3 в год. Затем будут реализованы проекты, направленные на использование низколиквидной древесины и отходов лесопереработки.

При нынешнем потреблении сырья около 0,5 млн м^3 лиственницы в год объем древесных отходов достигает 12 тыс. м^3 в месяц. Для достижения максимальной экономической эффективности производственного цикла руководитель компании принял решение организовать обеспечение технологических линий тепловой и электрической энергией, получаемой при утилизации древесных отходов на собственном котельном оборудовании.

При выборе поставщика котельного оборудования компания руководствовалась следующими критериями:

- энергетическая эффективность технологических процессов;
- способность топок принять сырье без предварительной подготовки по влажности;
- способность работать без перенастроек на любых видах древесных отходов;
- способность сжигать кору;
- способность работать при экстремально низких температурах окружающей среды;
- возможность установки функции электрогенерации;
- модульная комплектация (с возможностью дополнительного подключения еще одного котла).

После изучения рынка выяснилось, что этим критериям максимально соответствует продукция компании Polytechnik.

В декабре 2010 года Амурская лесопромышленная компания заключила контракт с австрийской компанией Polytechnik Luft- und Feuerungstechnik GmbH на производство и поставку оборудования для утилизации древесных отходов и выработки технологического пара на базе двух топок с гидромеханической колосниковой решеткой и теплообменников насыщенного пара общей мощностью 36 МВт. В начале 2012 года это оборудование было введено в эксплуатацию.

В июле 2012 года компании подписали ряд контрактов на поставку еще одной установки мощностью 18 МВт, а также турбины для выработки 3100 кВт электроэнергии. На данный момент начата отгрузка этого оборудования.

В АЛК высоко оценивают опыт сотрудничества с компанией Polytechnik. «Качественно подготовленное проектное решение и установленное котельное оборудование позволяют нам самостоятельно обеспечивать производственные процессы энергоресурсами и контролировать запасы древесных отходов на территории завода, формируя только месячный резервный объем, – отмечает руководство предприятия. – Компания продолжает расширять производство, и наши новые технологические линии также предусматривают монтаж котельного оборудования Polytechnik».

В итоге поставленное оборудование будет представлять собой мини-ТЭЦ общей мощностью 54 МВт с возможностью выработки 3,1 МВт электроэнергии и получения около 50 МВт насыщенного пара для технологических целей и отопления производственных помещений.

Выбор оборудования Polytechnik выглядит логичным и обоснованным. Эта австрийская компания является одним из ведущих мировых производителей установок для деревообрабатывающей промышленности, а также связанных с ней отраслей. Ее существенный плюс – возможность предложить каждому заказчику индивидуальное техническое решение с последующим сервисным обслуживанием оборудования. Кроме этого, установки Polytechnik имеют высокий КПД даже при применении топлива из биомассы низкой теплотворной способности, например, коры с высоким влагосодержанием.

Polytechnik занимается не только производством топочного и котельного оборудования, но и строительством котельных комплексов под ключ. Тепловая мощность каждой установки может составлять от 300 до 30 000 кВт. В зависимости от влажности топлива предлагается несколько видов топочных систем: с нижней подачей топлива, с решеткой дожига, с гидравлической колосниковой решеткой. В качестве теплоносителей могут использоваться вода, перегретая вода, пар или термомасло. Топочные установки Polytechnik могут применяться как для генерации технологического тепла, так и для выработки электроэнергии. При этом электрическая мощность

одной турбины составляет от 200 до 20000 кВт.

Первые поставки в Россию компания Polytechnik осуществила в 2002 году, основной поток заказов начался с 2004 года. На сегодняшний день в стране успешно работают уже 70 установок суммарной мощностью более 300 МВт.

Большинство энергетических установок Polytechnik в России закупают предприятия лесной промышленности, мебельные фабрики, имеющие много древесных отходов, а также строительные компании, которые занимаются деревянным домостроением. Но есть и крупные заказчики из других отраслей, например, ЗАО «Элинар-Бройлер» – одна из крупнейших птицефабрик Московской области (Наро-Фоминский район). На производственной площадке предприятия сейчас работает установка с котлом насыщенного пара мощностью 9 МВт, в которой в качестве топлива используется куриный помет, перемешанный с подстилкой.

«Особенностью нашего оборудования является неприхотливость к фракционному составу, однородности и влажности используемого топлива, а также к наличию в нем отдельных крупных включений, – отмечают в компании Polytechnik. – Специально для регионов с тяжелыми климатическими условиями наши специалисты разработали систему топливоподачи без использования шнековых транспортеров, чувствительных к попаданию с топливом кускового смерзшегося материала, ленточной коры или даже горбылей. В системе топливоподачи отсутствуют вращающиеся механизмы, а привод транспортеров топлива и питателей топочного устройства осуществляется возвратно-поступательным движением гидроцилиндров. При этом ножи из специальной твердой стали, установленные в питателе, измельчают случайно попавшие топливные включения диаметром до 100 и длиной до 800 мм, что гарантирует стабильную работоспособность оборудования без специальной подготовки и сортировки топлива».

Главная гордость компании Polytechnik – многоходовое адиабатическое топочное устройство. Благодаря особенной конфигурации газоходов горение и предварительная очистка дымового газа заканчиваются еще в топке, без обмена теплом с поверхностями котла.

«Для твердотопливного котла предварительная очистка особенно важна из-за наличия в дымовых газах большого количества летучей золы, которая неизбежно осаждается на относительно холодных котловых трубах, – объясняет технический директор по РФ компании Polytechnik Андрей Поляков. – Пройдя по газоходам топки с различными скоростями и поворотами

RFP Group — одна из крупнейших в России лесопромышленных компаний

Занимает 2-е место в России по объему находящегося в управлении лесного фонда, по объемам лесозаготовки (около 2,4 млн м^3 в год), а также 1-е место на Дальнем Востоке по объему экспорта круглых лесоматериалов в страны Азиатско-Тихоокеанского региона.

потока на 180°, дымовой газ очищается от частичек пыли, которые под действием силы тяжести и центростремительного ускорения опускаются в карманы-пылеуловители топочного устройства с установленной системой автоматического сухого удаления золы за пределы топки. Таким образом, в поверхности теплообмена котла поступает уже предварительно очищенный, сформированный поток дымового газа. Кроме того, влажное топливо, подаваемое в верхнюю часть колосниковой решетки топочного устройства, мгновенно доводится до нужной кондиции под действием огромного количества тепла, аккумулированного шамотной кладкой и сводом топочного устройства в зоне горения, а также благодаря системе многозонового подвода горячего первичного воздуха горения под колосниковую решетку. Это гарантирует выдачу заявленной тепловой мощности в самый холодный период года на самом некачественном топливе – влажной необработанной коре. Система раздельного гидравлического привода зон колосниковой решетки позволяет автоматически регулировать скорость движения рядов колосников в зависимости от положения топлива с целью обеспечения условий оптимального горения и безшлакового золообразования. Благодаря дымогарному типу котлов, то есть конструкции, при которой весь водяной объем барабана котла пронизан раскаленными дымогарными трубами, а площадь поверхности испарения воды существенно увеличена, котельное оборудование Polytechnik способно незамедлительно реагировать на изменение режима работы: увеличение или уменьшение мощности».

Еще одно ноу-хау специально для регионов с суровой зимой – возможность автоматического сухого удаления золы (традиционное влажное золоудаление в сильные морозы часто оказывается неприемлемым). «Сухая» система Polytechnik позволяет герметично собрать всю выпавшую в агрегатах котельной установки и топочном устройстве золу всего в один контейнер, который для удобства замены обычно устанавливается за пределами здания котельной.

Несомненный плюс котельных Polytechnik – возможность работы без обслуживающего персонала. В оборудовании применяется система автоматического контроля и регулирования, которая позволяет специалистам компании из центрального офиса в австрийском Вайссенбахе подключиться к любой из тысяч котельных, независимо от страны и города, где она установлена, для проведения сервисного обслуживания программного обеспечения или тонкой настройки системы управления. Интегрированная программа обработки сигналов датчиков оборудования выдает на экран компьютера не только сообщения о текущем режиме работы, но и пояснения для решения конкретных технологических проблем.

Компания Polytechnik участвует в крупных исследовательских проектах и сотрудничает с техническими университетами Мюнхена, Вены и Граца, а также с Исследовательским институтом Вены в сфере экотехники, поэтому ее продукция постоянно совершенствуется.

«Одно из приоритетных направлений модернизации оборудования Polytechnik – снижение выбросов соединений с дымовыми газами, – отмечают в компании. – Благодаря использованию системы предварительной очистки дымового газа непосредственно в топочном устройстве, его дожига и рециркуляции с последующей сухой очисткой в мультициклоне котельные установки Polytechnik работают с выбросами, которые в несколько раз меньше установленных в РФ, и при этом нет необходимости использовать дополнительные дорогостоящие фильтры».

Фирма Polytechnik – один из ведущих производителей котельных установок, работающих на возобновляемых источниках топлива.

Головной офис находится в Вайссенбахе (Австрия). В ее состав входят четыре производственных предприятия и более 15 конструкторских офисов и представительств, занимающихся сбытом и обслуживанием оборудования в Европе, а также четыре представительства за пределами Европы. Доля экспорта предприятия составляет 99%.

За почти полвека своей деятельности компания Polytechnik построила в общей сложности более трех тысяч установок во всем мире. В референц-лист компании входят предприятия из Австрии, Германии, Голландии, Италии, Швейцарии, Франции, Финляндии, стран Балтии и Восточной Европы, а также Японии и Кореи. На территории бывшего СССР важными странами-импортерами являются Латвия, Литва, Беларусь, Украина и, конечно же, Россия.

ОТХОДЫ ФАНЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК ТОПЛИВО ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ

Древесина и побочные продукты ее обработки и переработки являются возобновляемым источником энергии с нейтральным уровнем эмиссии углерода и могут быть эффективно использованы в качестве топлива для котельных вырабатывающих тепловую и электрическую энергию. Правительствами индустриально развитых стран для снижения воздействия парниковых газов на климат планеты активно поощряется замена ископаемых топлив биотопливом.

Для снижения себестоимости тепловой энергии, влияния факторов внешней среды на устойчивость и стабильность развития предприятия и для комплексного сокращения выбросов вредных веществ в окружающую среду в ЗАО «Архангельский фанерный завод» в 2015 году был смонтирован и введен в эксплуатацию котлоагрегат PRD 22000 австрийской фирмы Polytechnik Luft- und Feuerungstechnik GmbH. Котлоагрегат установлен в котельной, предназначенной для обеспечения паром технологического цикла фанерного производства, оборудован дымовой трубой высотой 34 м и автоматической системой управления процессами. Котлоагрегат рассчитан на выработку насыщенного пара с рабочим давлением 1,2 МПа, его номинальная паропроизводительность – 34,0 т/ч.

Топливом для котлоагрегата является смесь дробленки фанеры, березовой коры, древесно-шлифовальной пыли (ДШП), опилок от обработки фанеры и рубленого шпона. Компоненты этой топливной смеси значительно различаются как по теплотехническим характеристикам (влажности, зольности, теплотворной способности), так и по технологическим показателям (сыпучести, взрывоопасности), но особенно сильно – гранулометрическим составом. Размеры частиц топливной смеси отличаются друг от друга более чем в тысячу раз, что обеспечивает ее уникальность, а также ставит задачу обеспечения эффективного и взрывобезопасного энергетического использования. Так, ДШП и опилки с линий обрезки фанеры являются мелкофракционным материалом и относятся к IV группе взрывоопасности, их критерий взрываемости ($K_т$) ($K_т^{ДШП}$ = 10,85; $K_т^{опил}$ = 9,66 соответственно) обеспечивает высокую степень взрыво- и пожароопасности состава сжигаемого древесного топлива, что серьезно усложняет условия эксплуатации котлоагрегата PRD 22000.

Для комплексной оценки эффективности работы установленного оборудования было проведено энергетическое обследование котельной, в ходе которого паропроизводительность котлоагрегата менялась в диапазоне 89,0–96,0% от номинальной.

У здания котельной (размером в плане 19,0×33,0 м) имеется один склад топлива, который оборудован системой топливоподачи. Топливо с помощью шести толкателей подается на цепной скребковый транспортер, который расположен под углом 90° к топливному складу с подвижным дном. Транспортер оснащен штангой со скребками и приводится в действие гидравлическим цилиндром от маслостанции.

Транспортер обеспечивает подачу топлива в загрузочную шахту автоподатчика, уровень топлива в которой контролируется фотоэлектрическими датчиками. Для защиты от возгорания шахта и цепной скребковый транспортер оснащены тепловой и электрической защитой. Из шахты топливо поступает на толкатель, который обеспечивает его транспортировку через загрузочное устройство на колосниковую решетку. Загрузка топочного устройства осуществляется в тактовом режиме в зависимости от расхода тепла потребителями, состава и влажности топлива.

Топка оборудована наклонно-переталкивающей колосниковой решеткой. В обмуровке боковых стен над колосниковой решеткой устроены пять «фотобарьеров» для контроля высоты слоя топлива. Под колосниковой решеткой с помощью перегородок организованы четыре зоны с индивидуальным подводом в них с одной стороны – первичного воздуха, а с другой – рециркулирующих продуктов сгорания. Подача горячего воздуха после воздухоподогревателя в каждую из зон колосниковой решетки осуществляется вентилятором.

Момент монтажа

Бассейн

Здание котельной

Воздух на вторичное дутье может забираться как из верхней, так и из нижней частей помещения котельной, с помощью вентилятора он вводится в объем топочной камеры рассредоточено – через сопла, расположенные в шахматном порядке на боковых стенах камеры.

В топочной камере котлоагрегата реализована трехступенчатая схема сжигания топлива. Для дополнительного снижения выбросов оксидов азота, повышения надежности работы колосниковой решетки и обмуровки топки установлены две системы рециркуляции продуктов сгорания и дополнительные дымососы. Забор продуктов сгорания в линии рециркуляции осуществляется из газохода после основного дымососа. Продукты сгорания с помощью дымососа рециркуляции № 1 направляются в объем топочной камеры над колосниковой решеткой со стороны боковых стен. Под колосниковую решетку котла газы рециркуляции подаются позонно с помощью дымососа рециркуляции № 2. Суммарная доля газов рециркуляции составляла ($r_{рец}$ = 0,35…0,40). У всех тягодутьевых установок частотное регулирование производительности.

Котлоагрегат оборудован двухходовыми дымогарными парогенераторами, расположенными горизонтально вдоль продольной оси, непосредственно над топочной камерой. На выходе из топки продукты сгорания разделяются на два потока и поступают в парогенераторы. При проведении энергообследования температура насыщенного пара на выходе из парогенераторов составляла 189–191 °С, т. е. была близка к нормативной. Температура газов на входе в парогенераторы менялась в диапазоне 850–868 °С, а после них – в диапазоне 231–244 °С. (см. табл.).

Стены топочной камеры выполнены из огнеупорной шамотной обмуровки, для увеличения времени пребывания дымовых газов в топке установлен один промежуточный свод. Температурный уровень обмуровки топочной камеры контролируется с помощью термопар в восьми точках по ходу движения продуктов сгорания.

Продукты сгорания, совершив два хода в каналах топочной камеры, поступают в водоохлаждаемые поворотные камеры парогенераторов, в которых разворачиваются на 90° и совершают два хода, проходя внутри дымогарных труб, а затем поступают в газораспределительную камеру водяного экономайзера, из которой по 400 трубам направляются вниз, отдавая тепло питательной воде. Подвод воды осуществляется в нижнюю часть корпуса экономайзера, а ее отвод из верхней части.

Некоторые результаты испытаний котлоагрегата PRD-22000

Характеристика	Обозначения	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3
Производительность	D (N), т/ч (МВт)	31,0 (20,2)	31,5 (20,5)	33,3 (21,7)
Рабочее давление насыщенного пара	$P_{нп}$, МПа	1,15	1,15	1,15
Температура питательной воды	$t_{пв}$, °С	106,7	106,5	106,5
Рабочее давление питательной воды	$P_{пв}$, МПа	1,53	1,53	1,53
Влажность топлива	W_t^r, %	26,74	26,74	26,74
Зольность топлива	A^r, %	0,45	0,45	0,45
Теплота сгорания	Q^r, МДж/кг	13,22	13,22	13,22
Температура первичного воздуха	$t_{гв}$, °С	80,0	80,0	80,0
Температура газов до/после водяного экономайзера	$\vartheta_{эк}/\vartheta_{эк}$, °С	244/168	236/168	231/168
Температура газов до/после воздухоподогревателя	$\vartheta_{вп}/\vartheta_{вп}$, °С	165/151	165/151	164/150
Разрежение в топке	$S_т$, Па	185	180	165
Избыток воздуха в уходящих газах	$\alpha_{ух}$	1,79	1.69	1,86
Потери тепла: – с уходящими газами	q_2, %	9,49	8.98	9,87
– с химнедожогом	q_3, %	0,01	0.01	0,01
– с мехнедожогом	q_4, %	0,13	0.13	0,14
– в окружающую среду	q_5, %	0,61	0.60	0,56
КПД котла брутто	$\eta_{бр}$, %	89,75	90.26	89,40
Полный расход древесного топлива	B, т/ч	6,121	6.177	6,593
Концентрация NO_x при O_2 = 6 %	NO_x, мг/нм³	147	142	154
Концентрация CO при O_2 = 6 %	CO, мг/нм³	35	33	35

После экономайзера дымовые газы поступают в мультициклон RGE 22000, где очищаются от твердых частиц. Очищенный газ направляется в рекуперативный трубчатый воздухоподогреватель LUVO 22000, в котором, совершая два хода, обеспечивает подогрев первичного воздуха.

Для очистки поверхностей дымогарных труб парогенераторов, водяного экономайзера и воздухоподогревателя от золовых частиц котлоагрегат оборудован системой пневмообдувки. Мелкодисперсная зола, просыпающаяся через зазоры колосников каждой зоны наклонно-переталкивающей решетки, поступает

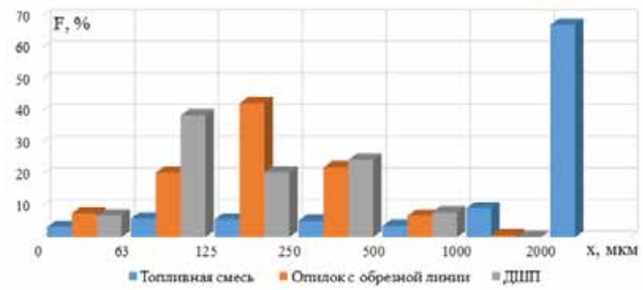

Рис. 1. Фракционные остатки, характеризующие гранулометрический состав топливной смеси и двух ее взрывоопасных компонентов

в бункера. Крупнодисперсная зола и шлак с колосниковой решетки, а также зола, сепарирующаяся из газового потока при его развороте у задней стены топки, поступают в отдельный бункер. Все очаговые остатки, в том числе золовые частицы из-под экономайзера, золоуловителя и воздухоподогревателя с помощью системы транспортеров поступают в сборный контейнер емкостью 12 м3, при заполнении которого зола и шлак вывозятся автотранспортом.

У сжигаемой топливной смеси была высокая степень неоднородности гранулометрического состава (средний коэффициент полидисперсности n = 0,655, а коэффициент, характеризующий крупность состава $b = 3{,}258 \cdot 10^{-3}$). Влажность древесного топлива была ниже проектной (30–32%), что связано с большим содержанием в смеси мелких взрывоопасных фракций (ДШП и опилок с линии обрезки фанеры. Массовая доля частиц размером менее 2 мм составляла более 32% (рис. 1).

Результаты балансовых опытов показали, что конструкция котлоагрегата и система автоматического регулирования режимов его работы обеспечивают высокую полноту выгорания оксида углерода, концентрация которого не превышала 35 мг/нм^3 при K_{O2} = 6%.

Температура воды на входе в экономайзеры котлоагрегатов была стабильной, что позволяло обеспечить ее дегазацию и довольно глубокое охлаждение дымовых газов.

Конструкция воздухоподогревателя позволила обеспечить подогрев первичного воздуха до 79–81 °С. Продукты сгорания при прохождении через воздухоподогреватель охлаждались до 151–154 °С. Температура вторичного воздуха составляла 30–32 °С. Указанные факторы обеспечили невысокий уровень температуры обмуровки топочной камеры – 920 °С.

Сопротивление котлоагрегата по газовому тракту зависит от его нагрузки, доли рециркуляции продуктов сгорания и характеристик сжигаемого топлива. При проведении балансовых опытов суммарное сопротивление котлоагрегата с парогенератором, водяным экономайзером, золоуловителем и воздухоподогревателем менялось в диапазоне 3,87–3,92 кПа. При этом сопротивление отдельных элементов составляло: топочной камеры с парогенераторами – 1,02-1,09; водяного экономайзера – 0,60-0,65; золоуловителя – 1,29-1,30; воздухоподогревателя – 0,88-0,91 кПа.

Исследования гранулометрического состава очаговых остатков показали, что у летучей золы, отобранной из-под золоуловителя и воздухоподогревателя, были высокая степень полидисперсности гранулометрического состава (n = 0,405) и очень тонкодисперсный состав (b = 0,207). Причем, в летучей золе доминировали частицы размером менее 45 мкм, массовая доля которых превышает 64%. Указанный гранулометрический состав летучей золы косвенно свидетельствует о высокой степени улавливания золоочистного оборудования.

У золы и шлака, отобранных из-под топочной камеры, была определена высокая степень полидисперсности гранулометрического состава (n = 0,537), причем в составах золы и шлака доминировали частицы размером ≥ 250 мкм, массовая доля которых составляла 55,56%.

Для определения запыленности дымовых газов и эффективности работы золоуловителя использовался метод внешней фильтрации. Отбор запыленного потока проводился при изокинетических условиях. Для измерения и регулирования расхода отбираемых продуктов сгорания применялось аспирационное устройство ОП-442 ТЦ. Результаты замеров поля скорости и концентраций твердой фазы в дымовых газах до водяного экономайзера показали, что структура газового потока в этом измерительном сечении не позволяет получить объективные результаты и для определения эффективности очистки дымовых газов от взвешенных частиц следует использовать массовый метод топливно-золового баланса.

Структура газового потока в измерительном сечении газохода перед дымовой трубой позволяет получить объективные данные по концентрации твердой фазы в продуктах сгорания. Среднее значение концентрации взвешенных веществ в продуктах сгорания указанного газохода составило 111,8 мг/нм^3 при нагрузке котлоагрегата 96% от номинальной.

Выполненные исследования позволили определить значения эмиссий твердых частиц, которые составили 57,08–62,84 г/ГДж, причем коэффициенты выбросов сажевых частиц менялись в диапазоне 7,99–8,80 г/ГДж.

Анализ условий тепловой работы котлоагрегата показал умеренные значения потерь тепла с уходящими газами, что объясняется невысокой температурой этих газов. Конструкция наклонно-переталкивающей решетки и системы охлаждения ее рамы обеспечили отсутствие шлаковых наростов и надежную работу установки шлакоудаления при высокой полноте выгорания горючих веществ в очаговых остатках ($C^{г}_{шл}$ = 9,0 %, $C^{г}_{ун}$ = 15,8%). Потери тепла с механической неполнотой сгорания составили q_4 = 0,13-0,14 %, а с физической теплотой шлака – $q_6 \leq 0{,}02\%$.

Для определения потерь тепла в окружающую среду использовался относительный метод, при этом ограждающие конструкции разбивались на отдельные участки, в каждом из которых с помощью пирометра измерялись средние температуры. На основании результатов замеров средних показателей температуры в 810 участках были рассчитаны коэффициенты теплоотдачи, а затем – потери тепла в окружающую среду (удовлетворительное качество обмуровочных и теплоизоляционных материалов позволило обеспечить низкий уровень этой потери, которая для номинальной нагрузки котлоагрегата составила $q_5^{ном}$ = 0,54%).

КПД брутто котлоагрегата в исследованном диапазоне нагрузок составил 89,40–90,26%, а удельный расход условного топлива на выработку – 1 ГДж – 37,78–38,14 кг усл. т.

Конструкция основного и вспомогательного оборудования котлоагрегата обеспечили его работу с высокими экологическими показателями. Так, концентрации вредных веществ, приведенные к коэффициенту избытка воздуха 1,4, составили: монооксида углерода – 33–35; оксидов азота – 142–154; твердых частиц – 111,8 мг/нм^3.

Реализация проекта по энергетическому использованию отходов фанерного производства для выработки тепловой энергии позволила значительно ослабить загрязнение окружающей среды, а также в полном объеме обеспечила потребности завода в технологическом паре.

Энергообследование показало, что у котлоагрегата PRD-22000 есть резервы для повышения технико-экономических и экологических показателей.

Виктор ЛЮБОВ, д-р техн. наук, проф., директор УНЦЭИ САФУ

ГОЛОВНОЙ ОФИС :

POLYTECHNIK Biomass Energy Luft-und Feuerungstechnik GmbH, Hainfelderstr. 69, A-2564 Weissenbach, AUSTRIA
Tel. +43/2672/890-0, Fax: +43/2672/890-13, E-Mail: office@polytechnik.at

STAATLICH AUSGEZEICHNETES UNTERNEHMEN

ФИЛИАЛЫ:

RUSSIA
Polytechnik Moskau i.G.
Tel.: +7 495 970 97 56
Mobile: +43 676 849 104 80
E-Mail: m.koroleva@polytechnik.at
Tel.: +7 981 12 10 169
Mobile: +43 676 849 104 42
E-Mail: a.polyakov@polytechnik.at

UKRAINE
Igor Shalashov
vul. Kramatorska 2/20
Kiew 03118, Ukraine
Tel.: +380 958850368

BELARUS
OAO „Energotechprom“
Omelyaniuka Strasse 15
BY-220021 Minsk, Belarus
Tel.: +375 296769351

ESTONIA, LATVIA, LITHUANIA
SIA Tauners
2 Instituta street, LV- 2169 Salaspils, Riga district, Lettland
Tel.: +371 675 251 24

ROMANIA
POLYTECHNIK SIETA S.A
98 Fabricii de Zahar St., Cluj Napoca
RO-400624 Cluj, Rumänien
Tel.: +40 (0) 264 415 037
E-Mail:office@sieta.ro

BULGARIA
Pro Eco Energia Ltd.
4, Trapesitza Str., Entr. 4, Floor 4
BG-1000 Sofia, Bulgarien
Tel.: +359 2 989 89 50

POLAND
POLYTECHNIK Polska Sp.z o.o.
ul. Bytomska 14, PL-81509 Gdynia, Polen
Tel./Fax: +48 58-664-63-12
E-Mail: biuro@polytechnik.com.pl

HUNGARIA
Polytechnik Hungária Kft
H-2133 Szodliget, (Szeszgyár)
Tel.: +36 273 536 17
E-Mail: polytechnik@invitel.hu

CZECH REPUBLIK, SLOVAKIA
Drevo Produkt SV spol. s.r.o.
Brnenska 3794/27, CZ-66902 Znojmo, Tschechien
Tel.: +420 602 741 168

FRANCE, NETHERLANDS, BELGIUM, LUXEMBOURG
POLYTECHNIK S.A.R.L.
Le Grand Breuil N°8, F-27190 Portes - France
Tél.: +33 2 32 30 42 86
E-Mail: contact@polytechnik.fr

SPAIN, PORTUGAL
R&B Equipos de Reciclaje y Biomasa S.L.
Avda. Selgas, 36, 8°, 16
E-46800 Xativa (Valencia), Spanien
Tel.: +34 962 283 251

SWITZERLAND
POLYTECHNIK SWISS AG
Zentrum für neue Technologien
Calendariaweg 2, CH-6405 Immensee, Schweiz
Tel.: +41 41 784 10 40
E-Mail: swiss@polytechnik.ch

GERMANY
Polytechnik Deutschland GmbH
Mühlstraße 5, D - 71549 Auenwald, Deutschland
Tel.: +49 7191 911 525 20
E-Mail: office@polytechnik.cc

ENGLAND/SCOTLAND/IRELAND
Energy Innovations
Newchurch Farm
Hereford, HR3 6QQ, England
Tel.: +44 1544 322225

NEW ZEALAND, AUSTRALIA AND SOUTH KOREA
POLYTECHNIK® Biomass Energy Ltd
81 St Andrews Road, Havelock North 4130, Neuseeland
Tel.: +64 6 877 4603
E-Mail: office@polytechnik.co.nz

SERBIA AND SOUTH EAST EUROPE
Polytechnik Luft und Feuerungstechnik GmbH
Ogranak Novi Sad, Narodnog fronta 89, RS-21000 Novi Sad, Serbien
Tel.: + 381 65 202 6424
E-Mail: v.radic@polytechnik.at

JAPAN
Polytechnik Japan i. G.
E-Mail: japansales@polytechnik.jp

CHINA
Polytechnik New Energy Technology (China) Co., Ltd, Xu Zhou Economic and Technological Development Zone, Software Park, Building E1, Floor 12, Xuzhou, Jiangsu Province, China
Tel.: +86 516-83806056
E-Mail: office@polytechnik.asia