

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_{st}) ($K_{st}^{ДШП} = 10,85$; $K_{st}^{опил} = 9,66$ 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.

40

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 ($\gamma_{\text{рец}} = 0,35...0,40$). У всех тягостоевых 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

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 _г , %	26,74	26,74	26,74
Зольность топлива	A _г , %	0,45	0,45	0,45
Теплота сгорания	Q _г , 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	θ _{эк} /θ _{эк} , °С	244/168	236/168	231/168
Температура газов до/после воздухоподогревателя	θ _{вп} /θ _{вп} , °С	165/151	165/151	164/150
Разрежение в топке	S _г , Па	185	180	165
Избыток воздуха в уходящих газах	α _{ух}	1,79	1,69	1,86
Потери тепла: – с уходящими газами	q _г , %	9,49	8,98	9,87
– с химнедожогом	q _з , %	0,01	0,01	0,01
– с мехнедожогом	q _д , %	0,13	0,13	0,14
– в окружающую среду	q _с , %	0,61	0,60	0,56
КПД котла брутто	η _{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/нм ³	147	142	154
Концентрация СО при O ₂ = 6 %	СО, мг/нм ³	35	33	35

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.

При проведении энергообследования скорость газа при совершении первого хода в парогенераторах составляла 16,4–17,0 м/с; при совершении второго хода она повышалась до W_г = 17,5–18,2 м/с. Скорость газов в трубах водяного экономайзера в исследованном диапазоне нагрузок составляла W_г = 15,8–16,4 м/с.

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

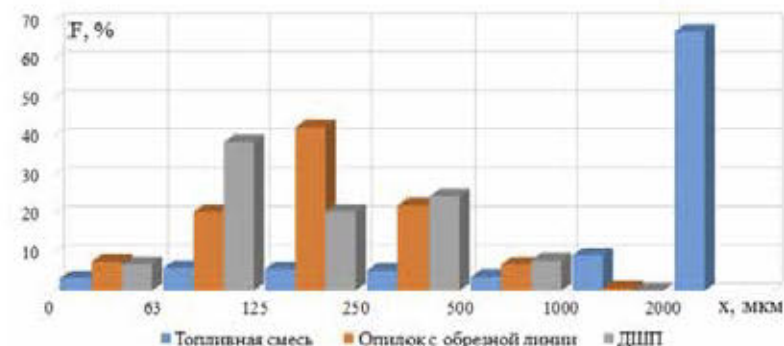


Рис. 1. Фракционные остатки, характеризующие гранулометрический состав топливной смеси и двух ее взрывоопасных компонентов

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 золотые 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/м³ при $K_{O_2} = 6\%$.

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.

Соппротивление 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, была 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 изокINETических 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 топливо-зольного 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/м³ 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 ($C_{\text{шл}} = 9,0\%$, $C_{\text{ун}} = 15,8\%$). 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 $q_{\text{сн}} = 0,54\%$).

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/м³.

Реализация проекта по энергетическому использованию отходов фанерного производства для выработки тепловой энергии позволила значительно ослабить загрязнение окружающей среды, а также в полном объеме обеспечить 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