

Особенности совместного сжигания угля и древесных отходов

А.Н. Кудряшов^a, А.Д. Мехряков^b, О.Н. Кочеткова^c

Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия

^akan@istu.irk.ru, ^bmehryakov-ad@irkutskenergo.ru, ^ccocha.on@gmail.com

Статья поступила 18.11.2016, принята 24.12.2016

В статье исследованы особенности сжигания кородревесных отходов (КДО) как в смеси с ирбейским углем, так и в чистом виде в энергетическом котле БКЗ-320-140 ПТ-5. Дана краткая характеристика котельной установки, особенностью которой является подача пыли высокой концентрации от существующих пылепитателей. Приводятся основные технические характеристики топлива в период испытаний. Рассмотрены и опробованы различные варианты подачи и сжигания КДО в котле. Определена расчетным методом производительность питателей сырого угля пылесистем. Приведены данные по температуре на выходе из топки и в летке от нагрузки котла и расхода пылевоздушной смеси при различных режимах работы. Представлены зависимости технико-экономических показателей работы котла при различных способах сжигания КДО в диапазоне нагрузок 160–200 т/ч, а также экологические показатели работы котлоагрегата БКЗ-320 в зависимости от нагрузки и способа сжигания КДО. В статье дан анализ результатов исследований.

Ключевые слова: вторичные источники энергии; энергетическая эффективность; кородревесные отходы; котел.

Features of co-combustion of coal and wood waste

A.N. Kudryashov^a, A.D. Mekhryakov^b, O.N. Kochetkova^c

Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontov St., Irkutsk, Russia

^akan@istu.irk.ru, ^bmehryakov-ad@irkutskenergo.ru, ^ccocha.on@gmail.com

Received 18.11.2016, accepted 24.12.2016

The article deals with combustion features of bark and wood waste (BWW) in power boiler BKZ-320-140 PT-5, both in a mixture with Irbeyskiy coal, and in its pure form. A brief description of the boiler plant, whose characteristic feature is a highly concentrated dust flow taken from existing systems of dust feeders, is given. Some basic technical characteristics of fuel during a test period are described. Various options of BWW feeding and burning in the boiler have been considered and tested. The capacity of raw coal feeders of coal-pulverization systems has been calculated. The article gives the data on the temperature at the furnace outlet and in the tap-hole depending on the load of the boiler and a flow rate of dust air mixture under various operating conditions. The relationships of technical and economic boiler performance at various ways of BWW burning in a load range of 160 ÷ 200 t/h are determined. Ecological performance of BKZ-320, depending on load and a method of BWW combustion, is presented. The research results are analyzed in the article.

Keywords: secondary energy sources; energy efficiency; bark and wood waste; boiler.

Введение

Использование вторичных и возобновляемых источников энергии является одним из самых актуальных направлений энергетической политики Российской Федерации по энергосбережению и повышению энергетической эффективности [1].

Согласно федеральному законодательству, региональные и муниципальные программы в области энергосбережения должны содержать мероприятия по увеличению количества объектов, использующих в качестве источников энергии вторичные энергетические ресурсы и (или) возобновляемые источники энергии [2].

Сжигание кородревесных отходов (КДО) на котлах с жидким шлакоудалением, оборудованных системами пылеприготовления с промежуточными бункерами пыли, на сегодняшний день является инновационной задачей. В мировой практике отсутствуют наработки по сжиганию КДО на оборудовании в таком составе, одна-

ко решение данной задачи позволяет решить ряд экологических и экономических вопросов, таких как минимизация топливных издержек, ликвидация залежей КДО на территории предприятий Братска и сокращение выбросов серы, что позволит повысить надежность работы оборудования ввиду снижения интенсивности сернистой коррозии [3; 4].

В существующих котлах наиболее эффективно и малозатратно использование биотоплива совместно с расчетным топливом: углем и, возможно, жидким топливом [5–8]. Горение биомассы — намного более сложный процесс, чем горение ископаемого топлива [9; 10]. Ископаемые виды топлива, в отличие от большинства наименований твердого биотоплива, имеют значительно более высокое качество.

В данном исследовании дается оценка работы котла БКЗ-320-140 ПТ-5 ст. № 7 филиала ПАО «Иркутскэнерго» Иркутской ТЭЦ-6 при сжигании непроектного топ-

лива — КДО в смеси с ирбейским углем, а также в чистом виде.

Краткое описание котлоагрегата. Котел БКЗ-320-140 ПТ-5 (вертикально-водотрубный, с естественной циркуляцией, закрытой П-образной компоновки, с уравновешенной тягой, с жидким шлакоудалением) предназначен для работы на ирша-бородинском и назаровском углях Канско-Ачинского бассейна [11; 12].

Топочная камера размером 12 096 × 5 888 мм разделена пережимом из труб на две части, камеру горения и камеру охлаждения. Выше пережима топка имеет прямоугольную форму сечения, ниже пережима разводкой тыловых и фронтальных экранов труб выполнена камера горения в виде двух симметричных сообщающихся восьмигранных предтопок. Стенки предтопок ошпированы и утеплены. Трубы фронтального и заднего экранов внизу топки образуют слабонаклонный под, в котором имеются две летки для выхода жидкого шлака.

Топочная камера объемом 1 385 м³ оборудована восемью прямоточными тангенциальными горелками, установленными по четыре на угловых гранях каждого предтопка. Оси горелок направлены касательно к воображаемой окружности диаметром 980 мм. Восемь сбросных горелок расположены выше основных и имеют крутку, противоположную прямоточным горелкам. На фронтальной стене топочной камеры расположены окна для отбора газов на сушку. Топочная камера полностью экранирована трубами и обшита снаружи металлическим листом.

На котле установлены замкнутые системы пылеприготовления (СПП) с промежуточным бункером пыли и сушкой топлива смесью топочных и уходящих газов. Котел оснащен четырьмя индивидуальными СПП с молотковыми мельницами ММТ-1500-2510-750, центробежными сепараторами производительностью 28 т/ч каждая (вентиляция мельницы 26–36 тыс. м³/ч), пылевым циклоном, шнековым питателем сырого угля (ПСУ), бункером сырого угля (БСУ) емкостью 520 т, бункером пыли емкостью 270 т. Подача топлива от пылепитателей УЛПП-1 производительностью 5 т/ч к восьми прямоточно-щелевым горелкам для котла ст. № 7 осуществляется по пылепроводам диаметром 89 мм системой ПВКр (пыль высокой концентрации под разрежением). Горелки расположены по тангенциальной схеме, в один ярус, на отметке +7,850 м.

Отбор сушильного агента производится из верхней части топочной камеры котла. Отбирающиеся на сушку и транспортировку топлива дымовые газы имеют темпе-

ратуру в пределах 900–1100 °С, в зависимости от состояния загрязнения экранов и режима работы котла. Для регулирования температуры сушильного агента, по условиям работы газозаборных шахт, в устье газозабора предусмотрен подвод «холодных» дымовых газов от дымососа рециркуляции (ДРГ) с температурой 150–170 °С.

Для улучшения выхода жидкого шлака котла на отметке +7,3 м на боковых стенах топки установлены две муфельные горелки (МГ).

Подача пыли высокой концентрации производится от существующих пылепитателей. На одну муфельную горелку работает один пылепитатель. Транспорт пыли осуществляется воздухом, тягу обеспечивает паровой эжектор, установленный в горелке.

В настоящее время на котле может сжигаться смесь из углей, а именно жеронского, ирша-бородинского и ирбейского.

Угли относятся к III группе взрывоопасности по шкале ВТИ [13; 14]. Ирбейский уголь по своим характеристикам отличается от справочного значения и по составу ближе к проектному ирша-бородинскому углю [15], основным отличием является меньшая влажность (~ 28 %) [16].

Опытное сжигание древесных отходов и угля. Согласно данным, предоставленным ТЭЦ-6, предполагаемые к поставке КДО имеют следующие основные характеристики: $W_r = 25,0 \%$, $A_r = 0,25 \%$, $S_r = 0,036 \%$, $Q_{r1} = 3\,305$ ккал/кг.

Исходные КДО представляют собой плоскую щепу длиной порядка 30–120 мм, шириной 5–20 мм и толщиной 2–10 мм (рис. 1). Во время проведения испытаний на котел поступало топливо, состав которого приведен в табл. 1.



Рис. 1. Кородревесные отходы, поступившие на склад в июне 2014 г.

Таблица 1

Технический состав топлива в период испытаний

Вид топлива	Дата	Q_r^f , ккал/кг	W^f , %	A^f , %	V^{daf} , %	S^f , %
КДО	28.07.2014 г.	3 259	26,5	0,3	87,15	0,047
	6.08.2014 г.	2 646	39,2	1,3	87,6	0,047
Уголь	29.07.2014 г.	4 153	27,9	7,5	46,5	0,25
	1.08.2014 г.	4 071	29,3	7,4	46,5	0,25

Для обеспечения опытного сжигания КДО и угольной пыли в топке котла ст. № 7 на размол и подачу КДО реконструированы две системы пылеприготовления с переходом на прямое вдувание (СПП 7А и 7Б) [17].

Система сжигания КДО сконструирована таким образом, чтобы были опробованы три варианта подачи и сжигания КДО в котле:

1) подача КДО через пылепроводы к сбросным горелкам № 2 и 8 при работе СПП 7А;

2) подача КДО через пылепровод (к сбросной горелке № 5) и муфельную горелку № 1 при работе СПП 7Б;

3) подача КДО только через муфельную горелку № 1 при работе СПП 7Б.

Пылепровод от сбросной горелки № 3 мельничного вентилятора МВ-7Б заведен в муфельную горелку № 1 через центральный канал, при этом полностью демонтированы канал аксиального воздуха и пылепровод ПВКр.

В период с 25 июля по 8 августа 2014 г. на котле БКЗ-320-140 ПТ-5 ст. № 7 филиала ТЭЦ-6 «Иркутскэнерго» проводилась работа по изучению возможности транспортирования по тракту топливоподачи и размола в реконструированных системах пылеприготовления 7А, 7Б КДО в смеси с ирбейским бурым углем, а также в чистом виде, и их совместного сжигания в котле [18; 19].

Были опробованы разные схемы подачи КДО в котел (через сбросные горелки, только через муфельную горелку и совместно, через муфельную и сбросную горелки) и способы сжигания топлива (уголь в чистом виде, уголь в смеси с КДО, КДО в чистом виде) от реконструированных систем пылеприготовления 7А и 7Б.

В ходе режимно-наладочных работ была определена расчетным методом производительность ПСУ пылесистем 7А и 7Б (рис. 2) [20–22]. Возникшая разница в производительности ПСУ объясняется различной геометрией шнеков и корпусов ПСУ.

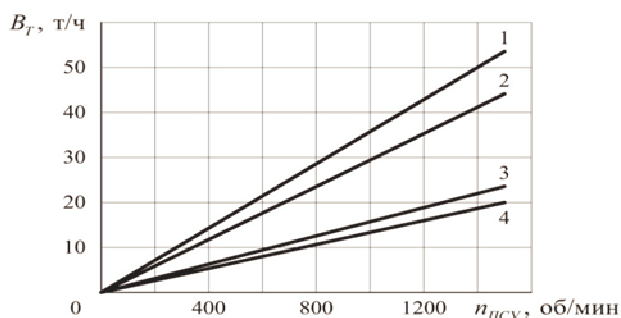


Рис. 2. Расходные характеристики ПСУ по углю и КДО: 1 — СПП 7Б (уголь); 2 — СПП 7А (уголь); 3 — СПП 7Б (КДО); 4 — СПП 7А (КДО)

Определена насыпная плотность щепы (КДО), поступающей в БСУ № 13 после ДМД, составившая 237 кг/м³. Насыпная плотность первоначальных КДО на угольном складе имеет меньшее значение (около 150–200 кг/м³).

На начальном этапе испытаний осуществлялась подача чистого угля через реконструированные СПП 7А и 7Б и дальнейшее сжигание угольной пыли в котле (срабатывался уголь из БСУ). Сжигание угля в чистом виде в реконструированных СПП проводилось для проверки

возможности работы котла после окончательной реконструкции, на прямом вдувании, в периоды необходимости работы на чистом угле.

При работе системы пылеприготовления 7А на чистом угле и подаче угольной пыли через сбросные горелки № 2 и 8 наблюдалось повышение температуры по газовому, а также пароводяному тракту котла и повышение температуры металла ПП 3-й ступени до 516–526 °С, 4-й ступени — до 560–573 °С. При этом расчетная температура пара за 3-й ступенью пароперегревателя составляет 505 °С, за 4-й ступенью — 560 °С.

При переходе на работу системы пылеприготовления 7Б на чистом угле опробована подача угольной пыли только через муфельную горелку № 1 (слева). Изменений параметров по газовому и пароводяному трактам не наблюдалось. При подаче угля через муфельную горелку № 1 (слева) наблюдалось выбивание горящего факела через летку со стороны работы муфельной горелки (сепарация пыли не наблюдалась). Зажигание угольной пыли происходило в муфельной горелке.

На следующем этапе испытаний осуществлены подготовка смеси угля и КДО, а также проверка возможности совместного размола в СПП 7А и 7Б и сжигания в топке котла БКЗ-320-140 ПТ-5 ст. № 7. Из-за зависаний КДО на решетке загрузочного бункера и в самом загрузочном бункере не удалось качественно приготовить смесь угля с КДО, поэтому после проведения испытаний на получившейся смеси (приблизительно 70/30, доля угля — 70 %) принято решение в дальнейшем проводить испытания на чистых КДО. Во время сжигания смеси угля с КДО в данной пропорции зависаний в БСУ № 13 не наблюдалось.

На заключительном этапе испытаний подавались чистые КДО в СПП 7А и 7Б. При работе СПП 7А на чистом КДО и подаче через сбросные горелки № 2 и 8 визуально наблюдался вынос горящих частиц КДО в конвективную шахту котла, о чем также свидетельствует наличие древесной золы в отборах проб золы из-под БЦУ. Зола представляет собой куски щепы, которые рассыпаются при механическом воздействии, оставляя несгоревшую волокнистую структуру. Доля древесной золы в объеме пробы, отобранной из уносов котла, составляла не более 0,5 % по массе, механический недожог частиц древесной золы в уносе — 35 %. Производительность пылесистемы на КДО была равна примерно 10 т/ч, при этом вентиляция мельницы — 36 300 м³/ч. Скорость ПВС в пылепроводах к сбросным горелкам № 2 и 8 составляла 28 и 26 м/с соответственно, температура газов на выходе из топки котла на отметке +24,0 м (под газозаборными шахтами) — 1 200 °С.

При сжигании чистого КДО по схеме «только через муфельную горелку» визуально наблюдались незначительный вынос горящих частиц КДО в конвективную шахту котла (намного меньше, чем при подаче КДО через сбросные горелки) и сепарация горящих древесных частиц в летку со стороны муфельной горелки, а также затенение факела. В шлакоприемной ванне присутствовали несгоревшие частицы КДО. На основании п. 5.3.12 [5] необходимо исключить возможность образования на поверхности воды шлакоудалющего устройства котла плавающего шлака и несгоревшего топлива, что способствует накоплению раскаленных час-

тиц кокса и может привести к взрыву водяного газа при расшлаковке топки.

Зажигание КДО происходило в муфельной горелке. Расход ПВС через пылепровод к МГ составил 31 000 $\text{нм}^3/\text{ч}$, при этом скорость ПВС на входе в муфельную горелку была на уровне 65 м/с.

При сжигании чистого КДО по схеме «через муфельную горелку и сбросную горелку № 5» также визуально наблюдался вынос горящих частиц КДО в конвективную шахту котла. Количество выносимых горящих частиц в правом полутопке котла, где находится сбросная горелка № 5, было на уровне предыдущего опыта, когда КДО подавались только через сбросные горелки № 2 и 8. В левом полутопке котла, где подача КДО осуществлялась через муфельную горелку, горящих частиц КДО на выходе из топки практически не наблюдалось, однако присутствовала сепарация горящих древесных частиц в летку со стороны муфельной горелки, и происходило затенение факела.

Изменения параметров по газовому и пароводяному тракту были незначительными при опробовании всех схем сжигания КДО.

Изменение влажности КДО сильно влияло на количество выносимых горящих частиц КДО в конвективную шахту котла. При возрастании влажности увеличивался вынос в конвективную шахту, даже при работе только на одной муфельной горелке.

Основные отличия режимов работы котла приведены в табл. 2. Видно, что при подаче КДО через сбросные горелки температура газов на выходе из топки котла увеличивается в среднем на 100 °С по сравнению с эксплуатационным режимом работы, в то время как при подаче КДО через МГ температура остается неизменной. Температура в летках котла при подаче КДО через муфельную горелку заметно ниже, чем в остальных режимах, что связано с затенением основного факела в летке котла потоком размолотого КДО. В период проведения испытаний это не оказало значимого влияния на режим выхода жидкого шлака.

Таблица 2

Режимы работы котла БКЗ-320 на нагрузках 0,5–0,6 $D_{\text{ном}}$

Режим	Нагрузка котла, т/ч	Расход ПВС, $\text{нм}^3/\text{ч}$				Температура на выходе из топки слева/справа, °С	Температура в летке слева/справа, °С
		Пылесистема 7А		Пылесистема 7Б			
		Сбросная горелка № 2	Сбросная горелка № 8	МГ № 1	Сбросная горелка № 5		
Эксплуатационный	174	–	–	–	–	1100/1080	1600/1600
Смесь 70/30 п/с 7А	200	23 000	22 000	–	–	1120/1130	1 700
Смесь 70/30 п/с 7Б	200	–	–	31 000	–	1 100	1 600
Чистый КДО п/с 7А	170–195	18 600	17 700	–	–	1195/1210	1 700
Чистый КДО п/с 7Б, только через МГ	174	–	–	31 100	–	1070/1080	1430/1580

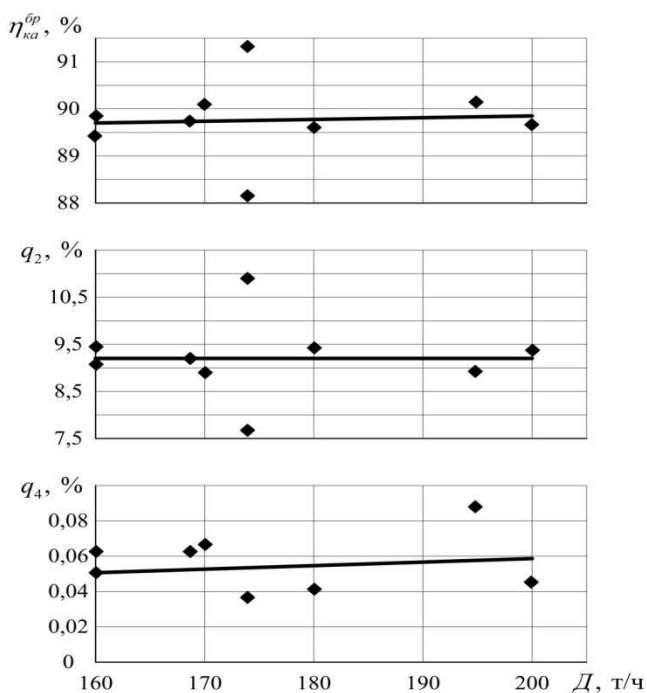


Рис. 3. Зависимости основных тепловых потерь и КПД от нагрузки котла БКЗ-320 (режимы 2, 3, 4)

Во всех опытах при сжигании КДО наблюдались горящие частицы в конвективной шахте котла, особенно в расщелке ВЭК-2 и ТВП-2. При этом отложений горящих частиц или древесной золы на трубных досках не происходило.

Технико-экономические и экологические показатели работы котла при разных нагрузках и различных способах сжигания КДО представлены на рис. 3, 4.

Испытания проводились в диапазоне нагрузок 160–200 т/ч. На рис. 3 представлены зависимости технико-экономических показателей работы котла при различных способах сжигания КДО (табл. 2, режимы 2, 3, 4). При сжигании КДО на нагрузках котла 160–180 т/ч приведенный КПД котла «брутто» в опытах снижался до 88,12–90,12 % по сравнению с эксплуатационным режимом работы — 91,31 % (при избытке воздуха до ВЭК $\alpha_{\text{вЭК}} = 1,98–1,46$). При этом суммарные потери возрастали в среднем с 8,69 до 11,88 %.

На рис. 4 представлены экологические показатели работы котла в зависимости от нагрузки и способа сжигания КДО (табл. 2, режимы 2, 3, 4). Концентрация оксидов азота NO_x в дымовых газах в диапазоне нагрузок 160–200 т/ч составляла 665–948 $\text{мг}/\text{нм}^3$. Большие значения соответствуют режимам при повышенном избытке воздуха в ПК.

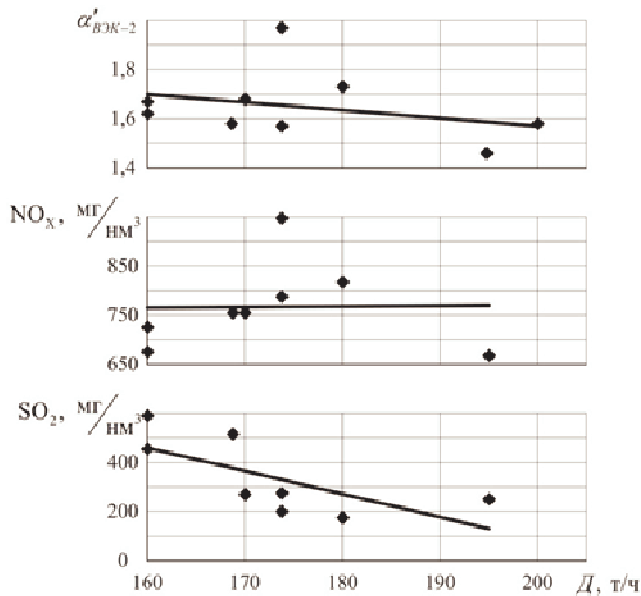


Рис. 4. Зависимости экологических показателей от нагрузки котла БКЗ-320 (режимы 2, 3, 4)

Концентрация оксидов углерода CO в дымовых газах во всех опытах составляла 0 мг/м³, что свидетельствует об отсутствии химического недожога топлива. Содержание оксидов серы SO₂ в дымовых газах составляло 182–588 мг/м³, повышение концентрации связано в основном с увеличением количества серы в поступающем на котел угле. При подаче на сжигание КДО происходило снижение выбросов SO₂.

Удельный расход электроэнергии на размол только угля в зависимости от состава работающего оборудования (одна или две пылесистемы на угле) составил 71,6–156,8 кВт*ч/тнт, отдельно только на размол КДО — 103,2–183,0 кВт*ч/тнт, на тягу и дутье в диапазоне нагрузок 160–200 т/ч — 9,8–11,7 кВт*ч/Гкал.

Заключение

В процессе проведения испытаний были опробованы разные схемы подачи КДО (через сбросные горелки, только через муфельную горелку и совместно через муфельную горелку и сбросную горелку) и сжигания топлива (уголь в чистом виде, уголь в смеси с КДО, КДО в чистом виде) от реконструированных систем пылеприготовления 7А и 7Б.

В итоге получены следующие результаты:

1. Размол и сжигание КДО на котле БКЗ-320-160 ПТ-5 ст. № 7 возможны, однако существует ряд трудностей, связанных с подачей, транспортировкой, хранением и сжиганием КДО, требующих устранения, особенно при подаче «чистого» КДО повышенной влажности.

2. Выявлен ряд сложностей в транспортировке КДО, а именно:

- с учетом открытой компоновки угольного склада при выпадении атмосферных осадков происходит значительное увеличение влажности КДО, что отражается на их транспортировке, размоле и полноте сжигания в котле;

- отмечено зависание КДО на решетках загрузочного бункера и в самом загрузочном бункере, в местах изменения угла наклона стенок;

- при повышенной влажности КДО (до 40 %) уменьшается проходимость по тракту топливоподачи (зависание в узле пересыпки УП 6);

- в связи со сложной геометрией течи БСУ 13Б и короба входа в ПСУ 7А происходит зависание КДО в БСУ № 13 на отметке +13,2 м и в районе штыревых затворов;

- наблюдается периодическая запрессовка КДО между последним пером шнека и торцевой стенкой ПСУ.

3. При транспорте КДО со склада в БСУ происходит предварительное измельчение в ДМД до размеров щепы, 5–10 см по длине и 1-2 см (по ширине) и менее. За редким исключением при загрузке в БСУ попадалась щепа крупных размеров.

4. Размольная производительность одной модернизированной системы пылеприготовления на «чистом» КДО составляет до 10 т/ч (оценивается в 10–15 % по теплу для номинальной нагрузки). Данное ограничение связано с повышением токовой нагрузки электродвигателя мельницы до аварийных значений при увеличении загрузки мельницы выше 700–800 об/мин ПСУ. Это связано с низкой насыпной плотностью щепы по отношению к углю и, соответственно, значительно большим объемом КДО.

5. Отсутствие на сегодняшний день длительной работы реконструированной системы пылеприготовления по схеме с прямым вдуванием при размоле КДО не позволяет сделать полную оценку скорости износа рабочих элементов мельничного вентилятора. Однако перевод на прямое вдувание при существующей схеме установки мельничного вентилятора неминуемо приведет к повышенному абразивному износу рабочего колеса и корпуса вентилятора, что уменьшит межремонтный период механизма.

6. Увеличение влажности КДО сильно влияет на количество выносимых горящих частиц КДО в конвективную шахту котла. Так, при возрастании влажности до 40 % вынос в конвективную шахту увеличивался даже при работе только на одной муфельной горелке, чего не происходило при меньшей влажности в начале проведения испытаний (около 26 %).

7. Работа реконструированных систем пылеприготовления 7А и 7Б, переведенных на схему с прямым вдуванием для сжигания КДО, возможна и на угольной пыли, но при этом отмечается повышение температуры по газовому и пароводяному тракту котла.

8. Обе схемы сжигания КДО (при подаче как в сбросные горелки, так и в муфельную горелку) пригодны для эксплуатации.

9. При подаче КДО в сбросные горелки повышается вынос горящих частиц из топки в конвективную шахту котла. Поскольку испытания были краткосрочными, не удалось количественно оценить накопление отложений золы КДО в конвективных поверхностях нагрева. При подаче КДО через МГ вынос горящих частиц практи-

чески отсутствует, но появляется сепарация частиц в летку котла. При испытаниях всех схем сжигания КДО наблюдались горящие частицы в конвективной шахте котла, особенно в рассечке между ВЭК-2 и ТВП-2. Однако в период останова котла и осмотра конвективной шахты персонал КТЦ не выявил отложения несгоревших частиц КДО.

10. При работе котла на нагрузках 0,5–0,6 $D_{ном}$ с одной работающей пылесистемой на КДО обеспечивается 25%-я доля КДО по тепловой мощности котла. Однако при увеличении нагрузки котла до номинальной выдержать долю КДО по теплу не представляется возможным из-за перегрузки мельницы (выше 1000/700 об/мин электродвигателя ПСУ 7А/7Б). Для увеличения тепловой доли КДО необходимо работать на двух мельницах по КДО и на одной мельнице на угле.

11. Для оценки влияния сжигания КДО в объеме 20%-й доли по теплу на выход жидкого шлака при номинальной нагрузке котла (с наибольшим выходом жидкого шлака через летки) необходимо проведение дополнительных работ.

12. Изменение параметров по газовому и пароводяному тракту было незначительным при опробовании всех схем сжигания КДО.

13. По результатам проведенных испытаний котла и реконструированных систем пылеприготовления предпочтительной является схема с подачей КДО в МГ.

14. Молотковые мельницы не позволяют измельчить КДО, подобно углям, путем ударного воздействия на их волокнистую структуру. Частицы КДО не могут достаточно высохнуть вглубь для их полного факельного сжигания в существующих котлах с ЖШУ.

15. Основные проблемы при сжигании и транспортировании КДО связаны с их крупными размерами. Более глубокое измельчение КДО для подачи в молотковую мельницу позволит обеспечить более глубокую сушку в ММТ и качественное выгорание в топке котла.

Литература

1. Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 13 нояб. 2009 г. № 1715-р. Доступ из справ.- правовой системы «Консультант Плюс».

2. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон от 23 нояб. 2009 г. № 261-ФЗ. Доступ из справ.- правовой системы «Консультант Плюс».

3. Кудряшов А.Н., Елизаров В.В., Сушко С.Н. Оценка использования отсевов черемховского угля для сжигания в топках с жидким шлакоудалением // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2013. № 11. С. 288-293.

4. Иванов С.Д., Кудряшов А.Н., Ощепков В.В. Определение параметров аэродинамического сопротивления элементов оборудования систем пылеприготовления котельных агрегатов по экспериментальным данным // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2015. № 2. С. 199-206.

5. Никишов В.Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесная промышленность, 1985. 264 с.

6. Сколяров Я.Н., Кушнаренко В.В., Кудряшов А.Н. Проблемы подготовки и сжигания низкосортных топлив в топках котлоагрегатов и пути их решения // Материалы 24-й симпозиума по горению: основные докл. Сидней, 1992. С. 45-49. Австралия.

7. Кудряшов А.Н., Коваль Т.В., Воронков В.В. Использование вторичных ресурсов (отходов углеобогащения) для сжигания в топках котлов ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго» // Горение твердого топлива: материалы VIII Всерос. конф. с междунар. участием. Новосибирск, 2012. С. 231-234.

8. Повышение эффективности сжигания низкосортных углей и древесных отходов на ТЭЦ-1 Архангельского ЦБК / науч. рук. Г.П. Алаев // Отчет ЛТИ ЦБП, № г.р. 01.84.0007648. 99 с.

9. Головкин С.И., Коперин И.Ф. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная промышленность, 1987. 224 с.

10. Жучков П.А. Тепловые процессы в целлюлозно-бумажном производстве. М.: Лесная промышленность, 1978. 407 с.

11. Федоров А.И. Пособие по эксплуатации барабанных котлов среднего и высокого давления. М.: ВТИ, 2006. 188 с.

12. Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования. ГОСТ Р 50831-95. Госстандарт России. М., 1996. 27 с.

13. Инструкция по обеспечению взрывобезопасности топливоподач и установок для приготовления и сжигания пылевидного топлива. СО 153-34.03. 352-2003. М., 2004. 49 с.

14. Skolyarov J.N., Elizarov V.V., Kushnarenko V.V. The Problem of Explosion-Proof Security of the Pulverizing-Coal Systems // XXVI Kraftwerktechnische Kolloquium "KRAFT-WARMEKOPPLUNG beim energiewirtschaftlichen Umbau in den neuen Bundesländern und in Osteuropa" 8-9 November 1994, Dresden, 1994.

15. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). Изд. 3-е, перераб. и доп. СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.

16. Руководящие указания по хранению и обработке твердого биотоплива, Nordic Innovation Centre. 2008-10.

17. Кудряшов А.Н., Мехряков А.Д. Совместное сжигание отходов древесного производства с углем // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: сб. тр. восьмой междунар. научно-техн. конф. Благовещенск, 2015. С. 344-347.

18. Кудряшов А.Н., Буйнов Н.Е., Мехряков А.Д. Особенности подготовки кородревесных отходов к сжиганию в котле БКЗ-320-140 ПТ-5 с жидким шлакоудалением совместно с углем // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2015. № 10. С. 200-206.

19. Трёмбовля В.И., Фингер Е.Д., Авдеева А.А. Совместное сжигание отходов древесного производства с углем // Горение топлива: теория, эксперимент, приложения: тез. докл. IX Всерос. конф. с междунар. участием Новосибирск, 2015. С. 80.

20. Трёмбовля В.И., Фингер Е.Д., Авдеева А.А. Теплотехнические испытания котельных установок. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1991. 416 с.

21. Пеккер Я.Л. Теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива (обобщенные методы). М.: Энергия, 1977. 256 с.

22. РД 34.09.155-93. СПО ОРГРЭС Методические указания по составлению и содержанию энергетических характеристик оборудования тепловых электростанций. М., 1993. 156 с.

References

1. About Power strategy of Russia for the period till 2030 [Elektronnyi resurs]: rasporyazhenie Pravitel'stva Ros. Federatsii ot 13 noyab. 2009 g. № 1715-r. Dostup iz sprav.- pravovoi sistemy «Konsul'tant Plyus».
2. About energy saving and about increase of power efficiency and about modification of separate acts of the Russian Federation [Elektronnyi resurs]: feder. zakon ot 23 noyab. 2009 g. № 261-FZ. Dostup iz sprav.- pravovoi sistemy «Konsul'tant Plyus».
3. Kudryashov A.N., Elizarov V.V., Sushko S.N. Evaluation of the use of screenings Cheremkhovo coal for combustion in furnaces with liquid slag removal // Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2013. № 11. P. 288-293.
4. Ivanov S.D., Kudryashov A.N., Oshchepkov V.V. Determination of aerodynamic drag parameters of elements of the equipment of boiler units pulverization systems on experimental data // Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2015. № 2. P. 199-206.
5. Nikishov V.D. Integrated use of wood. M.: Lesnaya promyshlennost', 1985. 264 p.
6. Skolyarov Ya.N., Kushnarenko V.V., Kudryashov A.N. Problems of preparation and burning of low-grade fuel in the furnaces of boilers and their solutions // Materialy 24-i simpoziuma po goreniiyu: osnovnye dokl. Sidnei, 1992. P. 45-49. Avstraliya.
7. Kudryashov A.N., Koval' T.V., Voronkov V.V. The use of secondary resources (waste coal) for combustion in boiler furnaces "Irkutskenergo" // Gorenie tverdogo topliva: materialy VIII Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem. Novosibirsk, 2012. P. 231-234.
8. Improving the efficiency of burning low-grade coal and wood waste at HES-1 of the Arkhangelsk Pulp and Paper Mill / nauch. ruk. G.P. Alaev // Otchet LTI TsBP, № g.r. 01.84. 0007648. 99 p.
9. Golovkov S.I., Koperin I.F. Energy recovery of waste wood. M.: Lesnaya promyshlennost', 1987. 224 p.
10. Zhuchkov P.A. Thermal processes in the pulp and paper industry. M.: Lesnaya promyshlennost', 1978. 407 p.
11. Fedorov A.I. Manual operation of drum boilers medium and high pressure. M.: VTI, 2006. 188 p.
12. Boiler installations. Thermal and mechanical equipment. General technical requirements. GOST R 50831-95. Gosstandart Rossii. M., 1996. 27 p.
13. Instructions for explosion protection systems and fuel for cooking and burning a pulverized fuel. SO 153-34.03. 352-2003. M., 2004. 49 p.
14. Skolyarov J.N., Elizarov V.V., Kushnarenko V.V. The Problem of Explosion-Proof Security of the Pilverijing-Coal Systems // XXVI Kraftwerktechnische Kolloquium "KRAFTWARMKOPPLUNG beim energiewirtschaftlichen Umbau in den neuen Bundeslandern und in Osteuropa" 8-9 November 1994, Dresden, 1994.
15. Thermal design of boiler (standard method). Izd. 3-e, pererab. i dop. SPb.: NPO TsKTI, 1998. 256 p.
16. Guidelines for storage and handling of solid biofuels, Nordic Innovation Centre. 2008-10.
17. Kudryashov A.N., Mekhryakov A.D. Co-combustion of wood waste products from coal // Energetika: upravlenie, kachestvo i effektivnost' ispol'zovaniya energoresursov: sb. tr. vos'moi mezhdunar. nauchno-tekh. konf. Blagoveshchensk, 2015. P. 344-347.
18. Kudryashov A.N., Buinov N.E., Mekhryakov A.D. Features of preparation of BWW for combustion in the boiler BKZ-320-140 PT-5 with liquid slag removal, together with coal // Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2015. № 10. P. 200-206.
19. Trembovlya V.I., Finger E.D., Avdeeva A.A. Co-incineration of wood and coal production // Gorenie topliva: teoriya, eksperiment, prilozheniya: tez. dokl. IX Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem Novosibirsk, 2015. P. 80.
20. Trembovlya V.I., Finger E.D., Avdeeva A.A. Thermal testing units. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Energoatomizdat, 1991. 416 p.
21. Pekker Ya.L. Thermal calculations given fuel characteristics (generic methods). M.: Energiya, 1977. 256 p.
22. RD 34.09.155-93. SPO ORGRES Guidelines for the preparation and content of the energy characteristics of the thermal power stations. M., 1993. 156 p.