

где p_r – приведенное давление = $\frac{p_{m,2}}{p_{pc}}$, бар; T_r – приведенная температура = $\frac{T_i}{T_{pc}}$, К.

В выражении неизвестным является только среднее давление $p_{m,2}$, которое может быть определено:

$$p_{m,2} = \int_0^{t_2} \frac{p_{unk}(\tau) d\tau}{t_2}.$$

С учетом $Z_{m,2}$ можно определить время t_2 (11) $t_{con,2}$ (10) и подкритической массовый расход $\dot{m}_{unterkr}$ (8).

Просуммировав t_1 и t_2 , получим общее время истечения газа при прорыве сети.

Выводы.

Таким образом, можно сделать вывод, что для расчета количества продуктов сгорания и истечения газа необходимым является определение размера прорыва, а также формы отверстия, которые были классифицированы в группы.

УДК 662.6/9

В. К. Любов, А. Н. Попов, П. В. Малыгин, Е. И. Попова
Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА В ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ МИНИ-ТЭЦ

Целью данной работы являлось комплексное энергетическое обследование теплогенерирующей установки мини-ТЭЦ, оборудованной двумя паровыми котлоагрегатами мощностью по 9,5 МВт и противодавленческой турбиной мощностью 3,3 МВт. В топках котлоагрегатов, оборудованных наклонно-переталкивающими решетками, реализована трехступенчатая схема сжигания, обеспечившая эффективное энергетическое использование кородеревесных отходов. Выполнен анализ конструктивных особенностей установленного теплогенерирующего оборудования, определены составляющие теплового баланса, исследованы выбросы оксидов азота и оксида углерода. Особое внимание уделено выбросам сажевых частиц, оказывающих сильное влияние на экологическую обстановку Арктических территорий.

Котельная установка, топливо, вредные вещества, выбросы сажевых частиц, топка, система автоматики, золоуловитель, потери тепла, первичный и вторичный воздух.

The aim of this work is a comprehensive energy examination of the heat generators of mini-CHP equipped with two steam boilers with 9.5 MW capacity and backpressure turbine with 3.3 MW capacity. The furnaces of boiler installations were equipped with reciprocating grates. A three-stage scheme of combustion which ensures the effective use of wood wastes energy was implemented. The article provides: performed analysis of features design of heat generating equipment components; thermal balance components definition; emissions of nitrogen oxides and carbon monoxide examination. Special priority was given to the emissions of black carbon ash particles that have a particularly high impact on the environment of arctic territories.

Boiler installation, fuel, harmful substances, emissions of black carbon, furnace, automation system, ash collector, heat losses, primary and secondary air.

Введение.

Одним из направлений снижения выбросов вредных веществ в атмосферу установками топливно-энергетического комплекса следует считать замену невозобновляемых топлив – углей и мазутов – на возобновляемые виды биотоплива. Поэтому в индустриально развитых странах для уменьшения воздействия «парниковых» газов на климат планеты актив-

Приведенный алгоритм расчета времени утечки газа и газовых эмиссий через отверстие может быть использован для практических расчетов времени истечения газа в реальных условиях.

Литература

1. Капцов, И. И. Сокращение потерь газа на магистральных газопроводах / И. И. Капцов. – М., 1988.
2. ОАО «Росгазификация». Головной научно-исследовательский проектный институт. Методика по расчету удельных показателей загрязняющих веществ в выбросах (сбросах) в атмосферу (водоемы) на объектах газового хозяйства. – М., 1996.
3. 7-th EGIG-report. 1970–2007, Gas Pipeline Incidents, Doc. Number EGIG 08. TV-B. 0502. – 2008. – December.
4. 8-th EGIG-report. 1970–2010, Gas pipeline incidents, Doc. Number. EGIG 11. R. 0402 (version2). – 2011. – December.
5. Mischner, J. Sonderdruck. Durchflusscharakteristika von Stellgliedern / J. Mischner, Y. Pan, K.-H. Pflüger. – Teil I. – 2009. – № 3.
6. Mischner, J. Zur Berechnung des Druckverlaufs in Gasrohrleitungen / J. Mischner. – 2009. – № 5.
7. Statistical summary of reported spillages in 2011 and since 1971, CONCAWE. – Brussels, 2013. – April.

но поощряется замена ископаемых топлив биотопливом. Наиболее эффективным направлением энергетического использования побочных продуктов лесопильного производства является строительство мини-ТЭЦ на древесных отходах [1], [2], [4]. При этом возможны различные технологические схемы реализации данного направления, требующего значительных капитальных затрат, но позволяющего реализо-

вать преимущества когенерации и обеспечить производство более дешевой тепловой и электрической энергии, снизить техногенную нагрузку на окружающую среду, а также обеспечить значительное уменьшение зависимости предприятий от внешних источников энергии.

Основная часть.

В 2014 г. на Цигломенском участке ЗАО «Лесозавод 25» был реализован очередной, самый масштабный и дорогостоящий этап программы комплексного использования древесного сырья. Закончен монтаж и запущена в работу ТЭЦ-2, оборудованная двумя паровыми котлоагрегатами по 9,5 МВт и противоаварийной турбиной мощностью 3,3 МВт. Для комплексной оценки эффективности работы установленного оборудования было проведено энергетическое обследование ТЭЦ. При проведении обследования в работе находились оба котлоагрегата, при этом их паропроизводительность изменялась в диапазоне 78,0...91,1 % от номинальной. Диапазон возможного изменения нагрузки котлов был ограничен технологическими потребностями завода. Выработка электроэнергии составляла до 3,0 МВт.

Здание ТЭЦ (размером в плане 38,0×60,0 м) имеет два склада топлива (каждый 7,9×12,6 м и объемом 480 м³) и оборудовано системой топливоподачи. Топливо с помощью пяти толкателей подается на поперечные транспортеры, расположенные под углом 90° к топливным складам. Каждый поперечный транспортер оборудован штангой со скребками и приводится в действие гидравлическим цилиндром от маслостанции. Данная система допускает наличие в топливе отдельных древесных включений диаметром до

0,1 м и длиной до 1 м. Поперечные транспортеры обеспечивают подачу топлива в загрузочную шахту. Уровень топлива в загрузочной шахте контролируется фотоэлектрическими датчиками. Для защиты от обратного возгорания она и поперечный транспортер оснащены тепловой и электрической защитами. Из шахты топливо поступает на толкатель, который обеспечивает его транспортировку через загрузочное устройство на колосниковую решетку топочной камеры. Загрузка топочного устройства осуществляется в тактовом режиме в зависимости от расхода тепла потребителями, состава и влажности топлива.

Для сжигания высоковлажного кородревесного топлива на ТЭЦ-2 установлены австрийские котлоагрегаты PRD-9500 фирмы "POLYTECHNIK Luft- und Feuerungstechnik GmbH", оборудованные индивидуальными дымовыми трубами высотой 30 м. ТЭЦ оснащена автоматической системой управления всеми процессами технологической схемы. Котлоагрегаты PRD-9500 рассчитаны на выработку перегретого пара давлением 2,4 МПа с температурой 425 °С. Их номинальная паропроизводительность составляет 12,5 т/ч. Перегретый пар поступает в противоаварийную турбину. При проведении энергообследования температура перегретого пара на выходе из котлов изменялась в диапазоне 413...425 °С, т. е. имела значения близкие к нормативным. При этом пароохладитель во всех режимах находился в работе, снижение температуры пара после него составляло 28...46 °С. Температуры газов до пароперегревателей изменялись в диапазоне 543...574 °С, после них 344...360 °С (см. таблицу).

Таблица

Некоторые результаты испытаний котлоагрегатов PRD-9500

№	Наименование величины	Обозначение	Размерность	Котел 1		Котел 2	
				Опыт 1	Опыт 3	Опыт 5	Опыт 6
1	Производительность	N	МВт	8,89	7,95	9,14	7,82
2	Рабочее давление перегретого пара	P _{п.п}	МПа	2,35	2,40	2,35	2,45
3	Температура перегретого пара	t _{п.п}	°С	422	424	422	424
4	Температура пара до и после пароохладителя	t _{по} /t _{по}	°С	354/316	353/311	357/316	361/315
5	Влажность топлива	W _f ^r	%	57,22	59,76	57,22	59,76
6	Зольность топлива	A ^r	%	0,60	0,79	0,60	0,79
7	Теплота сгорания	Q _i ^r	МДж/кг	7,22	6,61	7,22	6,61
8	Температура первичного воздуха	t _{г.в}	°С	142	139	146	145
9	Температура газов до и после пароперегревателя	θ _{пп} /θ _{пп}	°С	572/344	574/346	570/359	568/360
10	Температура газов до и после водяного экономайзера	θ _{эк} /θ _{эк}	°С	290/182	282/172	294/195	283/185
11	Температура газов до и после воздухоподогревателя	θ _{вп} /θ _{ух}	°С	179/155	170/148	186/160	177/153
12	Избыток воздуха в уходящих газах	α _{ух}	-	1,53	1,54	1,58	1,60
13	Потери тепла: с уходящими газами	q ₂	%	10,32	10,26	10,94	10,95
14	с химнедожогом	q ₃	%	0,04	0,00	0,14	0,01
15	с мехнедожогом	q ₄	%	0,17	0,22	0,26	0,25
16	от наружного охлаждения	q ₅	%	1,58	1,75	1,54	1,78
17	КПД котла брутто	η _{бр}	%	87,86	87,71	87,08	86,96
18	Полный расход древесного топлива	B	т/ч	5,031	4,922	5,222	4,886
19	Разрежение в топке	S _г	Па	200	98	205	190
20	Эмиссия NO _x	NO _x	мг/МДж	57	66	62	71
21	Эмиссия СО	СО	мг/МДж	39	4	144	11

В топочных камерах котлоагрегатов реализована трехступенчатая схема сжигания топлива. Для дополнительного снижения выбросов оксидов азота, повышения надежности работы колосниковых решеток и обмуровки топки каждый котлоагрегат оборудован двумя системами рециркуляции продуктов сгорания и дополнительными дымососами. Забор продуктов сгорания в линии рециркуляции осуществляется из газоходов после основных дымососов. Продукты сгорания с помощью дымососа рециркуляции № 1 направляются в объем топочной камеры над колосниковой решеткой со стороны боковых стен через цилиндрические встречно направленные сопла (21×2 шт.). Доля дымовых газов рециркуляции, вводимых в надслоевую область топочных камер (линии №1), имела большие значения ($\gamma_{\text{рец1}} = 0,27...0,28$), учитывая, что температура на выходе из топок была не высока 800...923 °С. Скорость потока на выходе из сопл при проведении энергообследования составляла 14,1...18,0 м/с. На линии рециркуляции №1 предусмотрена возможность присадки свежего воздуха в дымовые газы, при проведении энергообследования степень открытия клапанов составляла 14...22 %. Под колосниковую решетку котла газы рециркуляции подаются позонно с помощью дымососа рециркуляции №2, при этом их доля составляла $\gamma_{\text{рец2}} = 0,02...0,04$. Все тягодутьевые установки котлов имеют частотное регулирование производительности.

Топка оборудована наклонно-переталкивающей колосниковой решеткой, состоящей из 31 ряда колосников, при этом 15 из них подвижные. Каждый ряд состоит из 51 колосника, выполненного из жароупорного хром-легированного стального литья. В обмуровке боковых стен над колосниковой решеткой организованы четыре «фотобарьера» для контроля высоты слоя топлива на ней. В исследованном диапазоне нагрузок теплонапряжение зеркала горения составляло 0,440...0,518 МВт/м², что аналогично котлоагрегатам PRD – 7500 ТЭЦ-1.

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. Подача горячего воздуха после воздухоподогревателя в каждую из зон колосниковой решетки осуществляется с помощью индивидуального вентилятора.

Воздух на вторичное дутье может забираться как из верхней, так и нижней (обычно из верхней) части помещения ТЭЦ и с помощью вентилятора вводится в объем топочной камеры рассредоточено через сопла (34 шт.) цилиндрической формы. Сопла расположены в шахматном порядке на боковых стенах (выше сопл рециркуляции) между фронтальной стеной и первым сводом топки и направлены встречно. Скорость потока вторичного воздуха на выходе из сопл при проведении энергообследования составляла 14,0...17,0 м/с. Вторичный воздух обеспечивает дожигание горючих компонентов топлива и позволяет минимизировать образование оксидов азота.

Стены топочной камеры выполнены из огнеупорной шамотной обмуровки и для увеличения времени пребывания дымовых газов в ней установлено два промежуточных свода. При этом живое сечение для прохода газов при их развороте у второго свода увеличено, что интенсифицирует сепарацию крупных фракций золы и частиц недогоревшего топлива на горизонтальный участок первого свода, расположенный у задней стены котлоагрегата. Отсюда с помощью задвижки они удаляются на поперечный транспортер системы золоудаления.

Котлоагрегаты оборудованы двухходовыми дымогарными газоводяными 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 (44 шт.). В поворотной камере у задней стены котлоагрегата они разворачиваются на 90° и, двигаясь вниз, омывают трубы пароперегревателя.

При проведении энергообследования средняя скорость газа при совершении I-го хода в газоводяных теплообменниках составляла 22,5... 28,4 м/с; в пароперегревателях она снижалась до 3,5...3,9 м/с; при совершении II-го хода в газоводяном теплообменнике повышалась до 20,0...21,7 м/с.

В конструкции конвективного пароперегревателя реализована схема многократноперекрестного тока при общем противотоке, компоновка коридорная. Поверхность нагрева пароперегревателя составляет 151 м², для регулирования температуры перегретого пара он оборудован охладителем впрыскивающего типа "SPID".

После пароперегревателя продукты сгорания по двум газоходам возвращаются в верхнюю часть котла и после поворота совершают второй ход по 316 дымогарным трубам, двигаясь к фронтальной стенке котлоагрегата. Котел оборудован предохранительными клапанами, воздушником, регулятором уровня воды. Для поддержания требуемого уровня соледержания имеет непрерывную и периодическую продувку. Продувочная вода поступает в расширитель продувки, в качестве которого используются буферные накопители "Reflex".

После котла продукты сгорания поступают в газораспределительную камеру дымогарного экономайзера PRH 9500, из которой по 437 трубам направляются вниз, отдавая тепло питательной воде. Поверхность нагрева экономайзера составляет 400 м², расчетное давление воды – 3,2 МПа. Подвод воды осуществляется в нижнюю часть корпуса, а ее отвод из верхней части, максимальная температура подогрева воды – 220 °С. С целью повышения температуры первичного воздуха на котлах были выполнены обводные газоходы для пропуска части дымовых газов в обход экономайзеров.

После экономайзера дымовые газы поступают в мультициклон RGE 9500, где очищаются от твердых частиц, которые по системе автоматического золоудаления поступают в сборные контейнеры. Очи-

щенный газ направляется в рекуперативный трубчатый воздухоподогреватель LUVU 9500, в котором, совершая два хода, обеспечивает подогрев первичного воздуха. Поверхность нагрева воздухоподогревателя составляет 224 м². При движении газов в трубчатом воздухоподогревателе происходит дополнительная сепарация золовых частиц.

В ходе энергетического обследования проведено восемь балансовых опытов при различных режимах работы котлоагрегатов, при этом в топку котлов подавались несортированные древесные отходы, в составе которых преобладала кора (весовая доля 54...77 %). Во всех опытах сжигаемые древесные отходы имели высокую степень неоднородности гранулометрического состава (средний коэффициент полидисперсности $n = 0,921$, а коэффициент, характеризующий крупность состава, $b = 2,487 \cdot 10^{-3}$). Основные теплотехнические характеристики топлива приведены в таблице.

Результаты балансовых опытов показали, что конструкция котлоагрегатов и система автоматического регулирования режимов их работы при сжигании кородревесного топлива с относительной влажностью до 60 % и эффективном использовании всей площади колосниковой решетки обеспечивают высокую полноту выгорания оксида углерода, концентрация которого не превышала 670 мг/м³ при $K_{O_2} = 6$ %. Потери тепла с химическим недожогом топлива изменялись в диапазоне $q_3 = 0,0...0,3$ %; а КПД брутто $\eta_{ка} = 86,18...87,86$ %. При этом более высокие значения имел КПД брутто у котлоагрегата №1 (см. таблицу).

Температура воды на входе в экономайзеры котлоагрегатов была стабильной 105,7...108 °С ($P_{пв} = 3,2$ МПа), что позволяло обеспечить ее дегазацию и достаточно глубокое охлаждение дымовых газов. Так температура продуктов сгорания после водяных экономайзеров составляла 172...195 °С, даже при прохождении части дымовых газов в обход экономайзера по обводному газоходу.

Конструкция двухходового по газам воздухоподогревателя позволила обеспечить подогрев первичного воздуха до 139...146 °С, при этом через воздухоподогреватель проходило 37...45 % от общего количества организованно подаваемого воздуха. Продукты сгорания при прохождении через воздухоподогреватель охлаждались до 148...160 °С (см. таблицу). Температура вторичного воздуха составляла 26...30 °С, а его доля в общем количестве организованно подаваемого воздуха 55,0...63,4 %.

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 газоводяным теплообменником, пароперегревателем, водяным экономайзером, золоуловителем и воздухоподогревателем изменялось в диапазоне: 2,43...4,20 кПа. При этом сопротивление отдельных элементов составляло: 0,81...1,50 – котла с теплообменником и пароперегревателем; 0,23...0,45 – водяного экономайзера;

0,87...1,70 – золоуловителя; 0,40...0,60 кПа – воздухоподогревателя.

Исследования гранулометрического состава очажковых остатков, отобранных из системы золо и шлакоудаления, показали, что они имеют высокую степень полидисперсности гранулометрического состава: шлак $n = 0,895$; $b = 0,988 \cdot 10^{-3}$; зола $n = 0,599...0,601$; при этом зола относится к тонкодисперсным материалам ($b = 0,0536...0,0543$). В шлаке преобладают частицы размером более 0,5 мм, весовое содержание которых составляет 78 %. В золе преобладают частицы размером менее 0,125 мм, которых содержится более 62 %.

Для определения запыленности дымовых газов и эффективности работы золоуловителей использовались два метода: внутренней и внешней фильтрации [3]. Отбор запыленного потока проводился при изокINETических условиях, при этом использовались данные предварительно проведенных тарировок. При отборе запыленного потока из газоходов до золоуловителей использовались фильтровальные патроны, а после воздухоподогревателей фильтродержатель АФА и стандартные фильтровальные патроны. Для измерения и регулирования расхода, отбираемых продуктов сгорания, применялось аспирационное устройство «ОП-442 ТЦ». Концентрации твердой фазы в продуктах сгорания, идущих к дымовым трубам, составила: 89,8 мг/м³ для котлоагрегата №1 при нагрузке 80 % от номинальной и 97,06 мг/м³ для котла №2 при нагрузке 78,6 % от номинальной.

Выполненные исследования позволили определить значения эмиссий твердых частиц, которые составили 52,72...58,61 г/ГДж, при этом коэффициенты выбросов сажевых частиц изменялись в диапазоне 8,61...10,03 г/ГДж. Исследования отобранных частиц на электронном растровом микроскопе Zeiss SIGMA VP позволили определить не только их структуру (рис. 1–2), размер частиц, но и количественный состав входящих элементов.

Размеры частиц находились в диапазоне от 0,1 до 10 мкм. Полученные результаты показали допустимость применения коэффициента пересчета (0,14 [5]) для определения содержания частиц сажи с размером 2,5 мкм и менее для котельных установок, работающих на кородревесном топливе крайне неоднородного гранулометрического состава. Выбросы сажевых частиц PM 2,5 для котлоагрегатов PRD-9500 составили 1,21...1,40 г/ГДж, что является хорошим результатом. Так как в соответствии с [5] коэффициент выбросов сажи на 1 ГДж теплоты топлива для котлов, работающих на древесине, принимается 11,0 г/ГДж.

Исследования показали, что инерционные золоуловители не позволяют обеспечить эффективную очистку дымовых газов от сажевых частиц, ввиду их малого размера и меньшей плотности по сравнению с минеральными частицами. Об этом свидетельствует рост содержания сажевых частиц в твердой фазе: до золоуловителя 4,6...5,5 %, после – 16,3...17,1 %.

Полученные результаты позволили определить значения суммарной степени очистки дымовых газов

при их прохождении через золоуловитель и воздухоподогреватель, которые по данным Центра лабораторного анализа и технических измерений по Архангельской области составили 85,3...90,0 % (большие значения для котлоагрегата №1, разрежение, в топке которого имело меньшие значения). При этом степень очистки уходящих газов от сажевых частиц составляла 63,1...67,0 % (большие значения для котлоагрегата №1).

Анализ условий тепловой работы котлоагрегатов показал, что потери тепла с уходящими газами изменялись в диапазоне $q_2 = 10,26...11,44$ %. Умеренный уровень данных потерь объясняется небольшими значениями коэффициента избытка воздуха в уходящих газах 1,53...1,62. Однако имеется резерв для уменьшения данных потерь за счет дополнительной настройки системы автоматики, снижения доли рециркулирующих газов в надслоевую зону топки и уменьшения уровня разрежений в топочных камерах до оптимальных значений.

Анализ условий тепловой работы котлоагрегатов показал, что потери тепла с уходящими газами изменялись в диапазоне $q_2 = 10,26...11,44$ %. Умеренный уровень данных потерь объясняется небольшими значениями коэффициента избытка воздуха в уходящих газах 1,53...1,62. Однако имеется резерв для уменьшения данных потерь за счет дополнительной настройки системы автоматики, снижения доли ре-

циркулирующих газов в надслоевую зону топки и уменьшения уровня разрежений в топочных камерах до оптимальных значений.

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 ($C_{\text{шл}}^{\text{г}} = 5,4...9,2$ %, $C_{\text{ун}}^{\text{г}} = 4,6...8,5$ %). Потери тепла с механической неполнотой сгорания составили $q_4 = 0,17...0,27$ %, а с физической теплотой шлака – $q_6 \leq 0,05$ %. Высокое качество обмуровочных и теплоизоляционных материалов позволило обеспечить невысокие значения потерь тепла от наружного охлаждения (см. таблицу).

КПД брутто котлоагрегатов PRD-9500 изменялся в диапазоне от 86,18 до 87,86 % при нагрузках 78,0...91,1 % от номинальной, при этом котел №1 имел более высокий КПД (см. таблицу). Удельный расход условного топлива на выработку 1 ГДж составил 38,81...39,57 кг у. т/ГДж, а эмиссии вредных веществ: $\mathcal{E}_{\text{NOx}} = 57...71$; $\mathcal{E}_{\text{тв. частиц}} = 52,72...58,61$; $\mathcal{E}_{\text{CO}} = 4...311$ мг/МДж. При этом верхняя граница эмиссии оксида углерода имела место при сжигании высоковлажного кородревесного топлива ($W_t^{\text{г}} = 60,55$ %), при высоком разрежении в топке (~200 Па) и не устойчивом процессе горения.

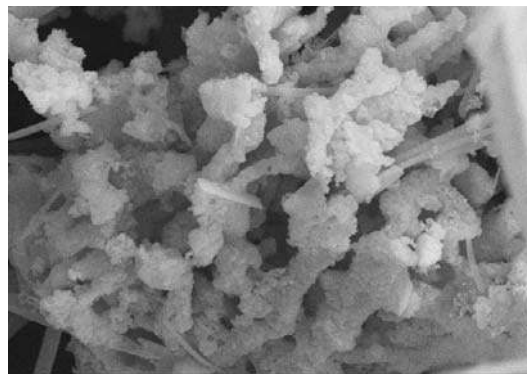
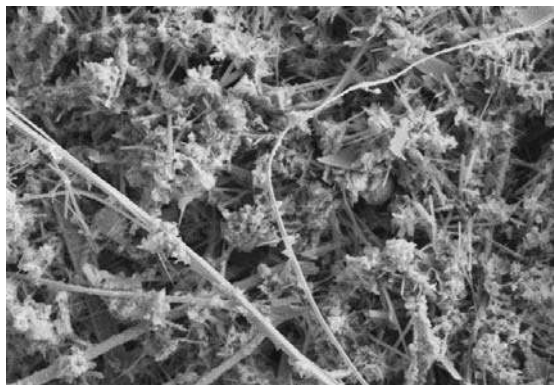


Рис. 1. Внешний вид твердых частиц, отобранных на котлоагрегате №1

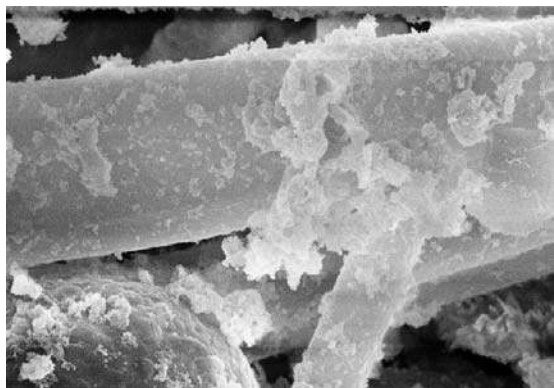


Рис. 2. Внешний вид твердых частиц, отобранных на котлоагрегате №2

Выводы.

Реализация проекта по энергетическому использованию древесных отходов для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии значительно уменьшила загрязнение окружающей среды, а также обеспечила потребности завода в электрической энергии на 65...70 и на 100 % в тепловой (при полной загрузке его цехов и запуске в работу гранульного производства).

Энергообследование показало, что котлоагрегаты PRD-9500 имеют резерв для дальнейшего повышения КПД, снижения эмиссии оксида углерода и частиц сажи путем дополнительной настройки системы автоматического регулирования.

Энергетическое использование биотоплив в автоматизированных котлоагрегатах в составе когенерационных установок является актуальным и перспективным направлением как региональной, так и государственной политики.

УДК 004.896

Литература

1. Любов В. К. Комплексное использование древесного сырья в технологическом цикле лесопильного предприятия / В. К. Любов, В. В. Горюнов // Вестник МГУ леса – Лесной вестник. – 2010. – №4. – С. 58–62.
2. Любов В. К. Повышение эффективности энергетического использования биотоплив: Учеб. пособие / В. К. Любов, С. В. Любова. – Архангельск, 2010.
3. Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах. – Л., 1987.
4. Семенов, Ю. П. Лесная биоэнергетика: Учеб. пособие / [Ю. П. Семенов и др.]. – М., 2008.
5. Borchsenius, H. Black carbon emissions from the district heating sector in the Barents region / H. Borchsenius, D. Borgnes // NORISK ENERGI, Ministry of environment of Norway Project name: RUS-11/0060. – 2013.

С. Ю. Петрушенко

НПО «Новатор» (г. Екатеринбург),

С. В. Ендияров

ОАО «Уралмашизавод» (г. Екатеринбург)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОХЛАЖДЕНИЯ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОХЛАДИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО АГЛОМЕРАТА

В статье описываются математические модели процесса охлаждения железорудного агломерата, используемые системой автоматизированного проектирования охладителей, а так же описание системы автоматического проектирования, позволяющей решать задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства охладителей железорудного агломерата.

Охладитель агломерата, система автоматического проектирования, оптимизация, имитационное моделирование.

The article describes a computer aided design system for a sinter cooler. The system can help to optimize cooler parameters as well as sintering process specifications to achieve specific goals of concrete iron ore sintering cooler.

Cooler of sinter, computer aided design, optimization, simulation.

Введение.

Известно, что производство охлажденного стабилизированного агломерата является эффективным способом уменьшения удельного расхода кокса и повышения производительности доменных печей [2]. Вместе с тем, его использование связано с существенным усложнением схемы обработки аглоспека. Поэтому в типовых технологических схемах первых агломерационных фабрик охлаждение и механическая стабилизация агломерата не предусматривались. Механическая стабилизация агломерата перед загрузкой в доменную печь появилась при внедрении производства охлажденного агломерата и конвейерных трактов его передачи в доменный цех. Однако стабилизация агломерата в перегрузочных узлах конвейерного тракта приводит к образованию большого количества мелочи 5–0 мм непосредственно

перед бункерами доменных печей. Поэтому грохочение агломерата при выдаче из бункеров не позволяет получить желаемое (4–5 %) содержание мелочи в скиповом агломерате.

Основная часть.

При транспортировке агломерата к доменным печам транспортерами с резиновой лентой, допустимая температура нагрева которой не превышает 150 °С, при расчете и организации охлаждения следует исходить из необходимости полного исключения кусков агломерата с температурой выше указанной по условиям службы ленты. Особенно это надо иметь в виду в связи с тенденцией к замене обычной (скиповой) загрузки доменных печей транспортной, лента которой имеет большую длину и стоимость. В этих условиях лучше добавить площадь охлаждаю-