

ПРО ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОЇ СМОЛИ В УМОВАХ ДНЮЧОГО КОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

© А.О. Бехтер, О.С. Гайдаченко, Г.М. Ткаліч, В.В. Зеленський (ПРАТ "ЗАПОРІЖКОКС"), Є.Т. Ковальов, д.т.н., Ф.Ф. Чешко, д.т.н. (ДП «УХІН»)

Протягом 2017-2018 рр. щільність кам'яновугільної смоли на ряді коксохімічних підприємств України зросла до 1230-1250 кг/м³, а вміст у ній речовин, нерозчинних в хіноліні – до 9-17 %.

У статті показана необхідність і можливість визначення узагальнених параметрів, що характеризують процес утворення кам'яновугільної смоли, контроль котрих дозволив би визначити технологічні чинники, відповідальні за зміни її якості. Це відкриває можливість для розробки технологічних рішень з управління якістю кам'яновугільної смоли на стадіях підготовки вугілля до коксування і виробництва коксу (у межах, які не призведуть до помітного погіршення якості основного продукту).

Для практичного застосування цього підходу обрано тривалий період виробничої діяльності ПрАТ «ЗАПОРІЖКОКС», для котрого характерна зміна в досить широких межах якості кам'яновугільної смоли власного виробництва - 15 календарних місяців, починаючи з січня 2018 г. Аналіз великого масиву виробничих даних показав: з досліджених параметрів найбільш показовим є співвідношення щільності кам'яновугільної смоли і вмісту в ній речовин, нерозчинних у хіноліні, з температурою підсклепінного простору. На цій підставі зроблено припущення, що зміни якості кам'яновугільної смоли обумовлені переважно коливаннями температури в підсклепінному просторі камер коксування. Це підтверджують усереднені середньомісячні дані щодо завантаження печей і виходу коксу за досліджений період.

Оскільки рівень обігріву коксових печей визначається вимозами до якості доменного коксу, єдиним шляхом зниження температури в підсклепінному просторі і, отже, зменшення інтенсивності парофазного піролізу компонентів кам'яновугільної смоли без негативного впливу на якість основного продукту є зменшення висоти підсклепінного простору.

Ключові слова: коксування, кам'яновугільна смола, ступінь піролізованості, коксова піч, завантаження, підсклепінний простір, температура.

Спеціальність: 144; 161. УДК 620.9:662.92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ КОКСУЮЩЕГОСЯ УГЛЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

© А.И. Топал¹, И.Л. Голенко², Л.С. Гапонич³

Институт угольных энерготехнологий Национальной академии наук Украины (ИУЭ НАНУ), 04070, г. Киев, ул. Андреевская 19, Украина

В.Г. Выфатнюк⁴

ООО «КБ Энергомашпроект», 02000, г. Киев, ул. Пожарского 4, Украина

¹ Топал Александр Иванович, канд. техн. наук, с.н.с., зав. отделом Процессов горения и газификации угля (ПГТУ), e-mail: dr.topal@gmail.com

² Голенко Ирина Львовна, канд. техн. наук, ученый секретарь ИУЭ НАНУ, e-mail: ily.golenko@gmail.com

³ Гапонич Людмила Станиславовна, канд. техн. наук, с.н.с., ст. научн. сотрудник ПГТУ, e-mail: haponych@ukr.net

⁴ Выфатнюк Владимир Григорьевич, технический директор – главный конструктор, e-mail: vyfatnyuk@kbenergo.com.ua

* Автор для корреспонденции

Рассмотрена проблема вовлечения в топливный баланс промышленных отходов обогащения угля. Показана актуальность для Украины разработки технологий утилизации промышленных отходов углеобогащения для производства электроэнергии и тепла. Представлен краткий анализ действующего в Украине законодательства в сфере управления отходами. Рассмотрены характеристики типичных высокозольных отходов углеобогащения коксующегося угля и угля марки Г. Показана невозможность их использования пылеугольными теплотростанциями. Обоснована необходимость предварительной подготовки отходов для процесса сжигания. Приведены технические решения по топливоподготовке хвостов флотации (ХФ) высокой влажности (W^d , около 37 %) и высокой зольности (A^d около 60%), коксующегося угля и промпродукта в качестве топлива для экологически безопасной технологии сжигания в циркулирующем кипящем слое (ЦКС). Разработаны и представлены варианты производства электроэнергии на основе ЦКС-котлоагрегата паропроизводительностью 75 т/ч в составе энергоблока электрической мощностью 20 МВт. Представлены проектные данные для использования промпродукта с низкой теплотой сгорания (на рабочую массу, Q_f^r , кДж/кг) 16748 кДж/кг и ХФ 9210 кДж/кг. Приведена технологическая схема и компоновка котлоагрегата с ЦКС для сжигания топлива при температуре 800–900 °С. Оценены экономические аспекты внедрения технологии производства электроэнергии на базе ЦКС-котлоагрегата.

Ключевые слова: промышленные отходы углеобогащения, высокозольный уголь; сжигание; парогенератор; циркулирующий кипящий слой.

DOI: 10.31081/1681-309X-2019-0-6-24-32

Актуальной проблемой в Украине остаётся вовлечение в топливный баланс значительных объёмов промышленных отходов обогащения угля, которые могут быть использованы как вторичное энергосырьё для производства электрической и тепловой энергии.

На законодательном уровне принципы и стратегия обращения с отходами (бытовыми и промышленными) соответствуют принятым в ЕС, что отражено в Соглашении об ассоциации и соответствующих директивах в сфере управления отходами и ресурсами, а также промышленного загрязнения. Политика в области обращения с отходами в ЕС определяется восемью директивами, из которых три вошли в список Соглашения об ассоциации: Рамочная Директива № 2008/98/ЕС от 19 ноября 2008 г. об отходах и отмене некоторых директив; Директива № 1999/31/ЕС от 26 апреля 1999 г. о захоронении отходов; Директива № 2006/21/ЕС от 15 марта 2006 г. об управлении отходами добывающих предприятий.

Директива об отходах № 2008/98/ЕС предусматривает введение иерархии приоритетов обращения с отходами:

- 1) предотвращение и минимизация образования;
- 2) подготовка к повторному использованию;
- 3) рециклинг;
- 4) повторная утилизация, в том числе восстановление энергии;
- 5) экологически безопасное удаление на полигоны.

Приоритетная цель – превращение отходов в ресурсы и снижение объёмов их образования [1].

Директива № 2010/75/ЕС от 24 ноября 2010 г. о промышленных выбросах (Industrial Emissions Directive или IED) – это основной документ ЕС в сфере охраны окружающей природной среды. Область применения Директивы № 2010/75/ЕС распространяется и на обращение с отходами – утилизацию (в т. ч. сжигание), удаление на полигоны и т. п. Согласно Директиве № 2010/75/ЕС, функционирование предприятий, в ходе деятельности которых образуются отходы, может осуществляться только при наличии интегрированного разрешения. Условия разрешения формируются на основании справочных документов из лучших доступных методов для обработки и сжигания отходов (Reference Document on the Best Available Techniques (BAT; BREFs) for Waste Treatment, WT BREF and Waste Incineration, WI BREF). В Украине утверждение справочных документов по BAT для сжигания отходов планируется осуществить в 2022–2023 гг.

Один из ключевых документов, определяющих долгосрочные подходы к управлению отходами в Украине – «Национальная стратегия управления отходами в Украине до 2030 года» (далее Стратегия; одобрена КМУ, Постановление № 820-р от 8 ноября 2017 г.).

Заметим, что в Украине в 2018 г. было накоплено 352,3 млн т отходов всех видов, причем 85,5 % (301,5 млн. т) из них – это отходы добывающей промышленности и разработки карьеров, к которым также относятся отходы добычи и обогащения угля (Государственная служба статистики Украины). Только 77,8 % отходов подверглись обработке – утилизировано 29,4 %, отправлено на сжигание 0,3 %, удалено на специально отведенные места или объекты 48,1 % (169,5 млн. т). Показатель образования отходов в Украине в 2018 г. составил 8,4 тонны на человека (в странах-членах ЕС – 4,9 т на человека). В странах-членах ЕС перерабатывается 93 % отходов, причем сжигается около 5 %.

С учетом изложенного, следует считать разработку технологий использования промышленных отходов обогащения угля для производства электрической и тепловой энергии актуальной проблемой, требующей решения, вариант которого изложен далее.

Типовое решение использования отходов обогащения коксующегося угля разработано для исходного углеродсодержащего сырья: высокозольных хвостов флотации (ХФ) и промпродукта, технический и элементный анализ которого приведен в табл. 1

Таблица 1

Технический и элементный анализ промышленных отходов (исходный материал)

Проба	$W^t, \%$	$A^d, \%$	$S^d, \%$	$V^{daf}, \%$	Состав на сухую беззольную массу daf, %				Нижняя теплота сгорания Q_i^t , кДж/кг
					C	H	O+N	S	
Пром-продукт	4,9	41,7	0,6	33,9	81,60	5,41	12,03	0,96	17158
ХФ	33,9	62,0	0,3	37,4	78,06	5,58	15,54	0,82	6472

Видно, что в качестве промышленных отходов выбраны частично обезвоженные хвосты флотации (кек) и высокозольный промпродукт газового угля. Такие отходы типичны для многих украинских обогатительных фабрик (ОФ). С точки зрения энергетиков ключевые особенности ХФ – крайне высокая зольность (около 60 %) и влажность (около 30 %) – результат мокрого обогащения, а также чрезвычайно мелкодисперсный состав. Промпродукт также характеризуется высокой зольностью. Эти характеристики не дают возможности прямого применения ХФ и промпродукта как топлива в существующих пылеугольных котлоагрегатах, где перед подачей в топочную камеру угольные частицы мелют (например, для АШ до $R_{90} = 5 \%$), сушат до менее 1,5 % влаги, а проектная зольность не должна превышать $A^d = 16-18 \%$. Содержание серы в отходах незначительно, что облегчает технические решения по очистке продуктов сгорания от диоксида серы.

В последующих вариантах расчетов было принято: ежегодное образование ХФ – около 1 млн т/год, промпродукта – 160 тыс. т/год.

Практически единственная из наилучших доступных технологий (best available technique – BAT) для утилизации таких сложных высокозольных топлив (ХФ и промпродукт) в соответствии с BREF – это технология сжигания твердого топлива в циркулирующем кипящем слое (ЦКС), характеризующаяся высокими экологическими показателями по выбросам оксидов серы и азота [2, 3]. Однако, даже для ЦКС использование ХФ в исходном виде (без предварительной осушки и агломерации) не представляется возможным. В связи с этим технологическая схема использования ХФ предполагает его глубокую сушку.

При незначительном удалении новой ТЭС от накопителя ХФ ОФ, его доставка может осуществляться авто- или железнодорожным транспортом на вход системы топливоподготовки, которая включает две основные стадии обезвоживания/сушки:

1. Первая стадия: механический отжим в камерных фильтр-прессах ФКМ (например, производства завода «Прогресс», Украина) с влажности $W^t = 37 \%$ до $W^t = 25 \%$;

2. Вторая стадия: сушка от влажности $W^t = 25 \%$ до $W^t = 8 \%$ и агломерация в барабанных сушилках в составе комплексов для сушки.

Система механического отжима разработана на базе трех камерных фильтр-прессов, два из которых находятся в постоянной работе. С выхода ФКМ-прессов хрупкие сформированные пласти толщиной 20-30 мм дробятся и подаются на вход барабанных сушилок, где происходит их сушка до проектной рабочей влажности $W^t = 8 \%$, которая предотвращает налипание в транспортерах подачи. В качестве оборудования первой стадии выбраны отечественные фильтр-пресса (три шт.; типа ФКМ 350-1500x2000-30-Б101 или их аналог), в т.ч. один резервный с общей площадью фильтрования более 700 м².

В состав сушильного комплекса (вторая стадия) входят такие базовые элементы: одна барабанная сушилка (например, типа БН-2,8-16 с диаметром барабана 2,8 м и длиной 16 м); теплогенератор дымовых газов тепловой мощностью 6 МВт, в основе которого может быть как горелка природного газа, так и предтопок кипящего слоя, где в качестве топлива может использоваться промпродукт газового угля. Сушка в барабанной сушилке происходит путем конвекции при прохождении горячих газов из теплогенератора через сушилку. Специальная конструкция барабанной сушилки способствует формированию агломерированных частиц кека, которые образуются за счет наличия в нём глинистого связующего.

Технологическая схема второй стадии сушки (например, в барабанной сушилке БН-2,8-16НУ-03 или аналоге) приведена на рис. 1. Комплекс включает систему циклонов, пылеуловитель, бункер-накопитель и вытяжной вентилятор.

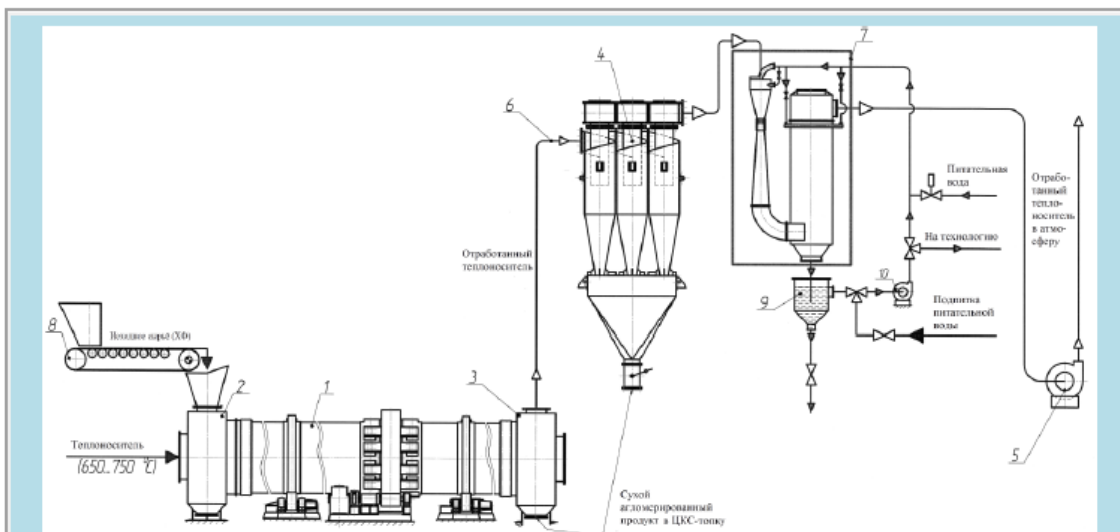


Рис. 1 Технологическая схема второй стадии сушки – в барабанной сушилке (тип БН-2,8-16-03) от влажности $W^t = 25\%$ до $W^t = 8\%$:
 1 – сушильный барабан, 2 – камера загрузки, 3 – камера разгрузки, 4 – мультициклон с бункером-накопителем и затвором, 5 – вытяжной дымосос, 6 – пневмопровод, 7 – мокрый пылеуловитель, 8 – ленточный питатель, 9 – бак-накопитель суспензии, 10 – циркуляционный насос

Технологическая схема топливоподготовки СВО разработана специалистами завода «Прогресс» (г. Бердичев, Украина) совместно с ИУЭ. При использовании в качестве основного топлива промпродукта предполагается его прямая подача в ЦКС-котлоагрегат при условии обеспечения влажности W^t , не более 8 % и размера частиц менее 5 мм.

Технологическая схема предусматривает полную комплексную переработку промышленных отходов обогаще-

ния коксующегося угля и промпродукта путём их сжигания в котлоагрегате с ЦКС для получения электрической энергии, который входит в состав энергоблока с широким диапазоном регулирования мощности 60-100 %. В качестве проектных были выбраны следующие параметры промпродукта и ХФ после сушки последнего (табл. 2).

Таблица 2

Проектные (расчетные) параметры топлива

Топливо	W^t , %	A^t , %	Состав на рабочую массу, %					Нижняя теплота сгорания (на рабочую массу) Q_{i1}^t , кДж/кг
			C^t	H^t	O^t	N^t	S^t	
ХФ	8	58,88	25,85	1,85	4,65	0,50	0,27	9210
Пром-продукт	6	39,48	44,49	2,95	5,74	0,82	0,52	16748

Для сжигания указанных топлив ООО «КБ Энергомаш-проект» совместно с ИУЭ был специально разработан ЦКС-котлоагрегат с естественной циркуляцией Е-75-6,3-500Ф с циркулирующим кипящим слоем паропроизводительностью 75 т/ч, температурой острого пара 500 °С и давлением 6,3 МПа, диапазоном регулирования паропроизводительности 60-100 % номинальной. В состав энергоблока входят турбоагрегат, в т. ч. паровая турбина и генератор, которые обеспечивают производство электроэнергии в диапазоне электрической мощности 12-20 МВт. Следует

отметить, что сжигание промпродукта в ЦКС-котлоагрегате позволяет обеспечить низкие выбросы оксидов серы и азота (менее 150-200 мг/м³ на 6 % O₂ сухих газов). При использовании промпродукта в качестве основного топлива капитальные затраты на строительство ТЭС могут быть существенно снижены за счет отказа от двухстадийной сушки ХФ. Работа основных систем котлоагрегата при сжигании промпродукта аналогична работе при использовании ХФ, однако КПД парогенератора при рабо-

те на промпродукте на 1-3 % выше (88-91 %), чем при использовании ХФ (около 87 %).

Технологическая схема сжигания топлива в котлоагрегате с ЦКС приведена на рис. 2. При использовании ХФ в качестве основного топлива агломерированные частицы (размером менее 5 мм) с выхода барабанной сушилки, просеянные через грохот, подаются в приемный бункер, откуда двумя транспортерами направляются в две точки подачи – на склоны пневмозатворов. Под действием силы тяжести (самотеком) топливные частицы падают на под топки, где установлена колпачковая решетка кипящего слоя, и смешиваются с рециркулирующим коксозольным остатком. К топливу в шнеки из отдельного бункера добавляют известняк для связывания оксидов серы.

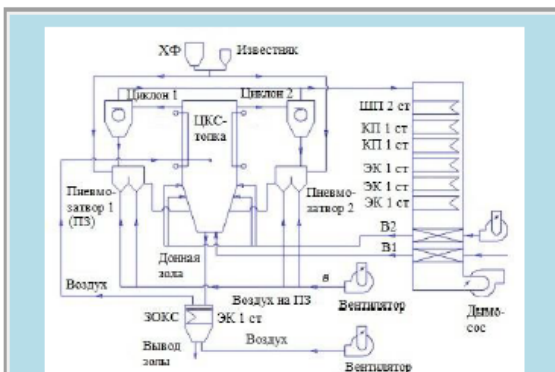


Рис. 2 Общая технологическая схема сжигания топлива (промпродукт / ХФ) в ЦКС-котлоагрегате Е-75-6,3-500Ф

Сжигание топлива в ЦКС происходит при низких температурах (около 870-900 °С), что способствует уменьшению образованию оксидов азота (сравнительно с пылеугольным сжиганием при высоких, более 1500 °С, температурах). Сначала материал слоя состоит из инертных частиц стартового наполнения топки (обычно выжженная зола), который в процесс работы должен быть замещен золой сжигаемого топлива и частичками известняка.

Первичный воздух подается вентилятором первичного дутья в воздухоподогреватель, с выхода которого направляется в короб газораспределительной колпачковой решетки. Вторичный воздух вентилятором вторичного дутья через воздухоподогреватель подается четырьмя распределительными коллекторами в два яруса в топочную камеру в зону расширения кипящего слоя. Над зоной расширения в надслоевом пространстве проходит интенсивная теплопередача от коксозольных частиц к экранам топочной камеры.

Топочная камера ЦКС-котлоагрегата (рис. 3) – призматическая, состоит из фронтальных, задних и боковых газоплотных экранов. В нижней части топочной камеры находится колпачковая решетка кипящего слоя. Габаритные раз-

меры топочной камеры: ширина – 6 м, глубина – 4 м, высота – 20 м. Через разведенные трубы в верхней части фронтального экрана топочной камеры продукты сгорания тангенциально подаются на вход двух циклонов, где происходит отделение твердой фазы.

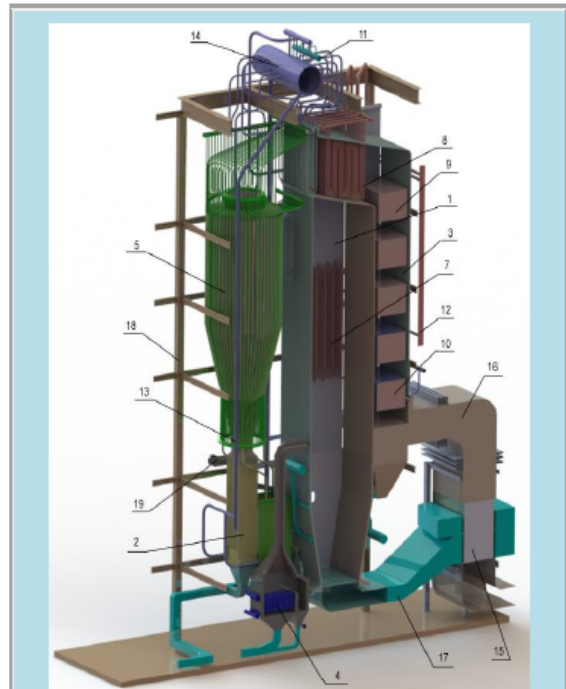


Рис. 3 Схематическое изображение топочной камеры ЦКС-котлоагрегата Е-75-6,3-500, спроектированного для сжигания ХФ:

1 – панели экранов топки; 2 – блок пневмозатвора; 3 – панели экранов конвективной шахты; 4 – золоохладитель донной золы (ЗОКС); 5 – циклоны; 6 – система золоудаления; 7 – радиационный ширмовый пароперегреватель; 8 – конвективный ширмовый пароперегреватель; 9 – конвективный пароперегреватель; 10 – экономайзер; 11 – конденсатор; 12 – парохладитель; 13 – трубопроводы в границах котла; 14 – барабан; 15 – воздухоподогреватель; 16 – газоходы котла; 17 – воздухоподогреватель; 18 – каркас котла; 19 – система топливоподачи

Циклоны ЦКС-котлоагрегата – специальной конструкции диаметром 4 м и высотой 12 м. Они рассчитаны на работу с высокими концентрациями твердой фазы на входе (около 2-4 кг/м³). Расчетная степень очистки газов в циклоне составляет более 99 %. С выхода конусной части циклона коксозольный остаток через пневмозатворы возвращается в топочную камеру на колпачковую решетку. Таким образом достигается цир-

куляция материала по контуру с кратностью, которая обеспечивает максимальное выгорание углерода топлива.

Продукты сгорания через выхлопные патрубки выходят из верхней части циклонов и, проходя через фестон, попадают в конвективный газоход. В газоходе продукты сгорания охлаждаются, последовательно проходя пароперегревающие, экономайзерные и воздухоподогревающие поверхности нагрева, и выходят из котла.

Для повышения КПД котла в конструкции предусмотрен теплообменник охлаждения донной золы (ЗОКС – золоохладитель кипящего слоя). Рециркулируемый коксозольный остаток (КЗО) из топочной камеры попадает в теплообменник кипящего слоя с установленной поверхностью нагрева экономайзера первой ступени. Количество КЗО регулируется тепловым затвором.

Компоновка котлоагрегата. ЦКС-котлоагрегат – однобаранный вертикально-водотрубный вертикальной ориентации (рис. 4) с естественной циркуляцией. Состоит из следующих блоков: экранов котла, конвективных поверхностей нагрева, барабана котла с сепарационными устройствами, воздухоподогревателей, циклонов, системы возврата летучей золы, лестниц и площадок, колпачковой газораспределительной решетки кипящего слоя, а также системы подачи топлива, системы охлаждения и удаления донной золы.

В состав парогенератора входят: топочная камера, циклонные сепараторы, конвективный газоход, пневмозатворы, теплообменник охлаждения донной золы. Отраждающие стены топочной камеры, конвективного газохода, циклонов и пневмозатворов образованы газоплотными экранами испарительных поверхностей. В нижней части топочной камеры фронтальной и задней экраны создают воронку разреженного кипящего слоя, покрытую защитной обмуровкой, которая предотвращает интенсивное испарение экранов. На фронтальном экране в нижней части топки сделаны разводки труб для подачи топлива и возврата золы, в верхней части – разводки для выхода газов в циклоны. В боковых экранах трубы разведены под установку растопочной горелки.

Циклоны имеют цилиндрическую и конусную части. Охлаждающие трубы, которые образуют стенки циклона, покрыты защитной керамической массой. Конусная часть циклона соединена с пневмозатвором, куда попадает КЗО. Продукты сгорания, очищенные от летучей золы, через выхлопной патрубков циклона и разведенный пучок труб (фестон) попадают в горизонтальный конвективный газоход, который расположен над топочной камерой. Газоход выполнен со смунтумом с потолочным и боковым экранами топочной камеры. В горизонтальном газоходе находится выходная ступень пароперегревателя, который образован ширмами труб и введен в газоход через верхний экран. В опускающем вертикальном газоходе последовательно расположены пароперегреватель II-ой ступени и экономайзер II-ой ступени. Все поверхности образованы пакетами змеевиковых труб и введены в газоход через боковой экран. Между пакетами конвективных поверхностей в заднем экране расположены разводки труб под лазы для обслуживания поверхностей во время ремонта, а также под

установку аппаратов очистки поверхностей нагрева для удаления внешних отложений.

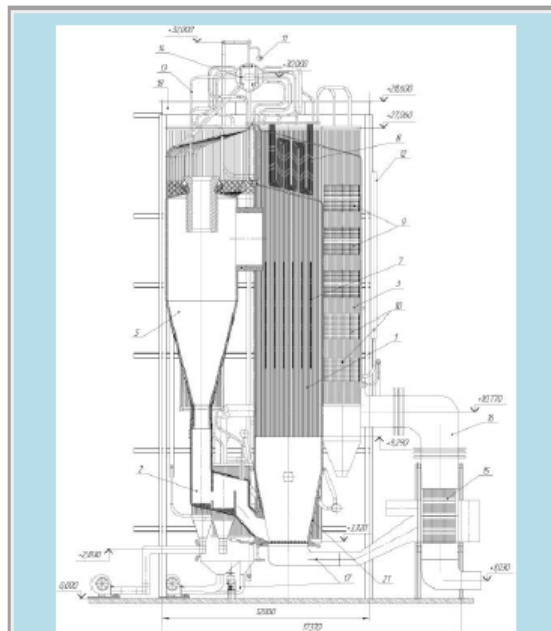


Рис. 4 Компоновка основных систем и блоков ЦКС-котлоагрегата

1 – панели экранов топки; 2 – блок пневмозатвора; 3 – панели экранов конвективной шахты; 4 – золоохладители донной золы; 5 – циклоны; 6 – система золоудаления; 7 – радиационный ширмовый пароперегреватель; 8 – конвективный ширмовый пароперегреватель; 9 – конвективный пароперегреватель; 10 – экономайзер; 11 – конденсатор; 12 – парохладитель; 13 – трубопроводы в стенах котла; 14 – барабан; 15 – воздухоподогреватель; 16 – газоходы котла; 17 – воздухопроводы котла; 18 – каркас котла; 19 – система топливоподачи

На отдельном каркасе установлены пакеты воздухоподогревателей. Пакеты первичного и вторичного воздуха имеют отдельные подводы воздуха от разных вентиляторов. Пакеты образованы закреплёнными в трубных досках трубами. Дымовые газы движутся внутри труб; воздух, который охлаждает газы, движется в межтрубном пространстве. Места установки трубных досок оборудованы линзовыми компенсаторами для устранения присосов воздуха. Выходной газоход и воздухоподогреватель соединены газоходом, на котором установлены два линзовых компенсатора для компенсации тепловых расширений. Тепловые расширения котла происходят вниз от верхней отметки котла. Фиксация тепловых расширений происходит при помощи реперов, установленных в контрольных точках котла.

Пароводяной тракт. Котлоагрегат с циркулирующим кипящим слоем работает по принципу естественной циркуляции. Схема испарения, принятая в котле, одноступенчатая. Единую пароводяную систему котла создают: водяной экономайзер, барабан, испарительный контур, пароперегреватель, парохладитель, конденсатор.

Естественная система циркуляции происходит по системе «барабан – опускные стойки – экран – пароперепускные трубы – барабан котла». Питательная вода через узел питания подается на экономайзер первой ступени, который находится в ЗОКСе. По водоперепускным трубам вода подается на вторую ступень экономайзера, которая расположена в нижней части конвективного газохода перед воздухоподогревателем. Далее по водоперепускным трубам вода поступает в барабан, где догревается до температуры насыщения.

Насыщенный пар по паропроводам попадает последовательно в первую ступень пароперегревателя, парохладитель, вторую ступень пароперегревателя, которая находится в конвективном газоходе, далее – в выходную (третью) ступень в горизонтальном газоходе. Через главную паровую задвижку пар выходит в главный паропровод.

Система вывода донной золы. Вывод донной золы из нижней части топочной камеры осуществляется по вертикаль-

ным трубам, приваренным к верхнему и нижнему листам решетки. Донная зола подается в ЗОКС, где охлаждается установленным пакетом экономайзера I-ой ступени и холодным воздухом. Подогретый воздух подается в среднюю зону топки.

Далее донная зола поступает в водоохлаждаемые накопители и выводится через водоохлаждаемые шишковые затворы. С выхода затворов зола поступает в наклонные шнеки и отводится в накопители золы или транспортируется на золоотвал. Система вывода донной золы работает по сигналу изменения давления под решеткой.

Разработанные технологические схемы предусматривают возможность работы ЦКС-котлоагрегата в составе энергоблока ТЭС электрической мощностью 20 МВт (конденсационный режим работы) в диапазоне регулирования 60-100 %. Производство электроэнергии базируется на работе паротурбинной установки, в качестве которой была выбрана паровая турбина SST-150 фирмы Сименс, Германия.

Обобщенные характеристики указанных вариантов производства электроэнергии при использовании двух видов промышленных отходов углеобогащения (ХФ и промпродукта газового угля) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные варианты производства электроэнергии на базе ЦКС-котлоагрегата при использовании отходов углеобогащения

Параметр	Единица измерения	Вариант 1	Вариант 2
Мощность энергоблока (электрическая)	МВт	20	20
Топливо		ХФ	промпродукт
Нижшая теплота сгорания Q_i^t	кДж/кг	9211	16748
Зольность на сухую массу	%	64	41,7
Паровая турбина		SST-150	SST-150
Режим работы турбины		конд.	конд.
Режимные параметры работы ЦКС-котлоагрегата			
Номинальная паропроизводительность котлоагрегата	т/ч	75	75
Абсолютное давление острого пара	МПа	6,3	6,3
Температура острого пара	°С	500	500
Процесс сжигания			
Расход подготовленного топлива на входе в котлоагрегат	т/ч	26,6	14,63
Расход воздуха на котлоагрегат	тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	87,2	82,8
Расход продуктов сгорания	тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	95	88,2
Выход золы из котлоагрегата	т/ч	15,7	5,8
Топливоподготовка			
Расход исходного ХФ на энергоустановку ($A^d = 64\%$, $W_{i, \text{вз}}^t = 37\%$)	т/ч	38,85	–
Выход влаги, выделяющейся при сушке исходного ХФ с $W_{i, \text{вз}}^t = 37\%$ до 8%	т/ч	12,25	–
Расход влажного ХВ на вход второй ступени топливоподготовки ($A^d = 64\%$, $W_{i, \text{вз}}^t = 25\%$)	т/ч	32,63	–
Суммарный расход топлива на теплогенератор барабанной сушилки (природный газ)	тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ (тыс. $\text{м}^3/\text{год}$)	1,86 (13)	–
Расход топлива на теплогенератор барабанной сушилки (промпродукт)	т/ч (тыс. т/год)	3,72 (26)	–

Экономические аспекты внедрения технологии производства электроэнергии на базе ЦКС-котлоагрегата при использовании отходов углеобогащения оцениваются следующим образом. При использовании ХФ в качестве основного топлива: суммарные ожидаемые капитальные затраты, млн. долл. США – 26,5, в т. ч. на котлоагрегат – 5,3; на паротурбинную установку – 6,8; на топливоподготовку – 1,5.

Выводы

1. Представлен краткий анализ действующего в Украине законодательства в сфере управления отходами. Показана актуальность разработки технологий утилизации промышленных отходов углеобогащения для производства электроэнергии и тепла.

2. Рассмотрены характеристики типичных высокозольных отходов углеобогащения коксующегося угля и угля марки Г. Отмечена невозможность их использования традиционными (пылеугольными) ТЭС.

3. Представлены технические решения по топливоподготовке высокозольных (A^d около 60 %) и высокозольных (W_t^f , около 37 %) отходов обогащения коксующегося угля (кека) и промпродукта. Обоснована необходимость предварительной подготовки ХФ для процесса сжигания.

4. Разработаны и представлены варианты производства электроэнергии на основе ЦКС-котлоагрегата по-

производительностью 75 т/ч в составе энергоблока электрической мощностью 20 МВт. Детально проработаны все элементы парогенератора.

5. В качестве дальнейшей проработки технологии предполагается рассмотрение комплексного проекта с использованием золы ЦКС при получении клинкера.

Библиографический список

1. Гапонич Л.С. Нормативне регулювання, сучасний стан поводження та перспективи енергетичного використання твердих побутових відходів в Україні / Л.С. Гапонич, І.Л. Голенко, О.І. Топал // Проблеми загальної енергетики. – 2019. – № 3 (58). – С. 40-49.

2. Белый Г.В. Реализация технологии сжигания высокозольного антрацита и отходов его обогащения в циркулирующем кипящем слое на энергоблоке №4 (210 МВт) Старобешевской ТЭС / Г.В. Белый, В.И. Иванов, Ю.П. Корчевой, А.Ю. Майстренко, П.Х. Смирнов, А.И. Топал, В.А. Шевченко // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2011. – № 6. – С. 3-11.

3. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Топал А.И. Экологически чистые угольные энерготехнологии. – К.: Наукова думка, 2004. – 186 с.

Рукопись поступила в редакцию 08.10.2019

THE USE OF INDUSTRIAL WASTE OF COKING COAL PREPARATION TO PRODUCE ELECTRICITY

© O. Topal, PhD in technical sciences, I. Holenko, PhD in technical sciences, L. Haponych, PhD in technical sciences (Coal Energy Technology Institute of NAS of Ukraine), V. Vyphatnuk (LTD “KB ENERGIOMASHPROEKT”)

The problem of involving in the fuel balance of industrial waste coal enrichment is considered. It is shown the relevance for Ukraine of the development of technologies for the utilization of industrial coal preparation waste for the production of electricity and heat. A brief analysis of the current legislation in Ukraine in the field of waste management is presented. There are considered the characteristics of typical high-ash coal enrichment waste of coking coal and brand Zh coal. The impossibility of their use by pulverized coal-fired power plants is shown. The necessity of preliminary preparation of waste for the combustion process is substantiated. It is presented technical solutions for the fuel preparation of flotation waste of high humidity (W_t^f , about 37 %) and high ash content ($A_d \approx 60$ %), coking coal and industrial product as fuel for environmentally friendly circulating fluidized bed (CCF) technology. It is presented variants of electricity production based on the central heating boiler unit with a steam capacity of 75 t/h as part of a power unit with an electric capacity of 20 MW have been developed. Design data for the use of an intermediate product with a lower calorific value (per working mass, Q_i^f , kJ/kg) 16748 kJ/kg and flotation waste 9210 kJ/kg are presented. The technological scheme and layout of the boiler unit with a central heating system for burning fuel at a temperature of 800-900 °C is presented. The economic aspects of implementation a technology for generating electricity based on a central heating boiler system are evaluated.

Keywords: industrial coal preparation waste, high-ash coal; burning; steam generator; circulating fluidized bed.



ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ КОКСІВНОГО ВУГІЛЛЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

© О.І. Гопал, к.т.н., Л.Л. Голенко, к.т.н., Л.С. Гапонич, к.т.н. (ІВЕ НАН У), В.Г. Вифатнюк (ТОВ КБ Енергомашпроект)

Розглянуто проблему залучення до паливного балансу промислових відходів збагачення вугілля. Показана актуальність для України розробки технологій утилізації промислових відходів вуглезбагачення для виробництва електроенергії і тепла. Надано короткий аналіз чинного в Україні законодавства у сфері поводження з відходами. Розглянуто характеристики типових високозольних відходів вуглезбагачення коксівного вугілля і вугілля марки Г. Показана неможливість їх використання піловугільними теплоелектростанціями. Обґрунтовано необхідність попередньої підготовки відходів для процесу спалювання. Наведено технічні рішення щодо паливopідготовки хвостів флотації високої вологості (W^t близько 37 %) і високої зольності (A^d близько 60 %), коксівного вугілля і промпродукту як палива для екологічно безпечної технології спалювання в циркулюючому киплячому шарі (ЦКС). Розроблено і подано варіанти виробництва електроенергії на основі ЦКС-котлоагрегату паропродуктивністю 75 т/год в складі енергоблоку електричною потужністю 20 МВт. Надані проектні дані для використання промпродукту з нижчою теплою згоряння (на робочу масу, Q^r) 16748 кДж/кг і ХФ 9210 кДж/кг. Наведена технологічна схема і комплектування котлоагрегату з ЦКС для спалювання палива при температурі 800-900 °С. Оцінено економічні аспекти впровадження технології виробництва електроенергії на базі ЦКС-котлоагрегату.

Ключові слова: промислові відходи вуглезбагачення, високозольне вугілля; спалювання; парогенератор; циркулюючий киплячий шар.

Редакція ВуглеХімічного

журналу поздоровляє авторів та читачів з наступаючим

Новим 2020 роком

і

Різдвом Христовим!