УДК 621.311

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ЦИРКУЛИРУЮЩЕМ КИПЯЩЕМ СЛОЕ В ЭНЕРГЕТИКУ УКРАИНЫ

Майстренко А.Ю.[1], Топал А.И.[1], Лаварько А.В.[2]

[1]*Институт угольных энерготехнологий НАН Украины, Киев, Украина*
[2]*ПАО «Донбассэнерго», Донецк, Украина*

АННОТАЦИЯ

В статье проанализирован опыт освоения первого в Украине и странах СНГ энергоблока электрической мощностью 210 МВт, оснащенного котлоагрегатом с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) (производительностью 670 т пара/ч), спроектированным на сжигание высокозольных (до 55%) шламов антрацита и/или антрацита (их смесей). Рассмотрены технологическая схема ЦКС-процесса и особенности работы основных систем котлоагрегата. Освещены проблемы освоения и отладки ЦКС-котлоагрегата (в том числе тракта возврата, системы вывода донной золы, теплообменников кипящего слоя), возникшие в ходе пуско-наладочных работ. Представлены разработанные новые технические решения по совершенствованию ЦКС-процесса, позволившие достичь проектных показателей работы энергоблока.

ВВЕДЕНИЕ

Сжигание угля в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) – технология, получившая стремительное развитие за последние два десятилетия. Сейчас её освоение в мире сопровождается строительством энергоблоков значительной электрической мощности (200–300 МВт). Сама ЦКС-технология успешно применяется во многих странах мира – США, Китай, Германия, Финляндия, Польша и др. в основном для сжигания низкокачественных (в т.ч. низкореакционных, высокозольных, высоко-сернистых) топлив различного происхождения и стадии метаморфизма [1-3].

Широкое внедрение ЦКС-технологии, как чистой угольной энерготехнологии, обусловлено высокими техническими и экологическими показателями работы угольных энергоблоков, созданных на её основе: низкие уровни выбросов оксидов серы и оксидов азота – менее 200 мг/нм^3; пыли – менее 50 мг/нм^3. Достигнутые значения выбросов соответствуют современным экологическим нормам, принятым в Европейском союзе, и требованиям к строительству нового энергетического оборудования в Украине. Сейчас в мире работает более 600 энергоблоков с ЦКС-котлоагрегатами значительной электрической мощности (более 150 МВт, при наибольшей – 460 МВт на ТЭС «Лагижа», Польша) [1].

ЦКС-технология постоянно развивается основными котлостроительными фирмами (Foster Wheeler, Babcock&Wilcox, США; Alstom, Франция; Kvaerner, Финляндия и др.), существуют концептуальные проекты энергоблоков электрической мощностью 500-600 МВт [2].

Основные преимущества ЦКС связаны с возможностью эффективно сжигать уголь различной степени метаморфизма: от бурого до антрацита, в т.ч. с высокой зольностью (A^d = 50–55%) и серой; широким диапазоном регулирования мощности энергоблока – 40–100% номинальной без использования природного газа для подсветки [1].

Однако, в некоторых случаях адаптация ЦКС-технологии сопровождается необходимостью решения ряда научно-технических проблем, связанных с особенностями используемого топлива, режимными параметрами работы и конструкцией котлоагрегата.

В данной работе основное внимание уделено рассмотрению технических решений по адаптации ЦКС-технологии, направленных на повышение надежности работы котлоагрегата, в т.ч. тракта возврата, выносных теплообменников кипящего слоя, а также системы вывода донной золы. Решение проблем по их отладке и модернизации позволило добиться надежной работы ЦКС-энергоблока ст.№4 Старобешевской ТЭС, достичь проектных показателей работы. Описание и анализ этих решений – цель данной статьи.

ПРОЕКТ РЕКОНСТРУКЦИИ: ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ И ЭТАПЫ ВНЕДРЕНИЯ

Среди стран СНГ Украина – первая, где началось промышленное внедрение ЦКС-технологии в топливно-энергетический комплекс в рамках проекта реконструкции 200 МВт энергоблока ст. №4 Старобешевской ТЭС [5].

Проект строительства энергоблока с ЦКС-котлоагрегатом на Старобешевской ТЭС был начат с подписания 11.12.1996 г. Кредитного соглашения с Европейским банком реконструкции и развития, взятого под гарантии Украины. Выбор фирмы, по лицензии которой внедрялась ЦКС технология, происходил по результатам открытого международного тендера, проходившего в два этапа (технический и коммерческий) в 2000 г.

Проектом реконструкции предусматривался демонтаж устаревшего пылеугольного котлоагрегата ТП-100, наработавшего 233 тыс. часов, и установка нового ЦКС-котлоагрегата (АЦКС-670) проектной паропроизводительностью 670 т/час. Ранее турбина К-200-130 была модернизирована, что способствовало продлению срока её эксплуатации на 20–25 лет с увеличением установленной мощности турбогенератора с 200 до 215 МВт.

В ходе проведения тендера работы по проекту были распределены на три лота и выполнены в следующих объемах:

Лот №1 «Котел»: замена старого пылеугольного котлоагрегата (ТП-100 производительностью 640 т пара/час) на атмосферный ЦКС-котел.

Лот №2 «Сушилка»: строительство сушилки шлама проектной производительностью 220 т/час по сухому продукту, в том числе системы подготовки и транспортирования сырого шлама и готового продукта; создание нового вагоно-опрокидывателя для выгрузки сырого шлама с подъездными путями и системой транспортировки.

Лот №3 «Пылеуловитель»: установка электрофильтра для глубокой очистки уходящих газов ЦКС-котлоагрегата.

Победителями тендера стали: по лотам №1 «Котел» и №2 «Сушилка» – фирма Lurgi Lentjes AG (теперь LL Plant Engineering, Германия); лоту №3 «Пылеуловитель» – фирма Alstom Power Environmental Systems AB (Швеция). Все контракты по лотам были подписаны в 2000 г. и осуществлены на условиях «под ключ».

Финансирование проекта осуществлялось в рамках кредита Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР) и за счет собственных средств ПАО «Донбассэнерго». Общая стоимость проекта реконструкции составила 117,5 млн евро, в том числе кредит ЕБРР – 84,5 млн. евро, собственные средства «Донбассэнерго» – 33 млн. евро. Удельные капитальные затраты оцениваются в 583 евро на установленный кВт.

Работы по строительству и монтажу оборудования по контракту были завершены в сентябре 2004 г. В дальнейшем до 29 июля 2005 г. на котле проводились пуско-наладочные работы с использованием различных видов топлива.

После приостановки работ на энергоблоке в результате технологического нарушения и его устранения в течение 2005-2007 гг. пуско-наладочные работы были возобновлены. В начале 2008 г. возобновились первые «горячие» пуски энергоблока, а апреле–мае – гидравлические испытания. Пуско-наладочные работы, цель которых состояла в окончательной отладке стабильных режимов сжигания высокозольного антрацита (отходов углеобогащения в смеси с ним) проводились до декабря 2010 г. В течение 27-30 января 2011 г. проведено комплексное испытание оборудования, в ходе которого энергоблок непрерывно отработал 72 часа на следующих параметрах: мощность – 210 МВт; диапазон регулирования 190-217 МВт; параметры пара – номинальные; топливо – шлам антрацита с низшей теплотой сгорания 4300-4800 ккал/кг; подсветка газом не использовалась. В феврале-марте 2011 г. прошли гарантийные испытания оборудования, во время которых были подтверждены контрактные обязательства подрядчиков относительно технико-экономических показателей работы котлоагрегата.

Освоение ЦКС-технологии осуществлялось с учетом проведенных в Украине и Гер-

мании исследований по сжиганию высокозольного антрацита и шлама антрацита, а также результатов исследовательских работ на пилотных стендах [4]. В результате проведения пуско-наладочных работ был накоплен уникальный практический опыт по адаптации ЦКС-технологии к отечественным условиям эксплуатации и особенностям низкореакционного местного угля, разработаны новые технические решения, учитывая которые были усовершенствованы методы и надежность работы основных систем ЦКС-котлоагрегата, а также улучшены технико-экономические показатели работы энергоблока.

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ЦКС-КОТЛОАГРЕГАТА: СИСТЕМА ТОПЛИВОПОДГОТОВКИ И ПАРОВОДЯНОЙ ТРАКТ

Особенности реализации технологической схемы ЦКС-энергоблока, в т.ч. состава оборудования, компоновки и режимов работы системы топливоподготовки, газо-воздушного и пароводяного тракта котлоагрегата подробно рассмотрены в [5].

Система топливоподготовки шлама антрацита. В качестве основного топлива ЦКС-котлоагрегата предполагалось использование шлама антрацита из отстойников-накопителей обогатительных фабрик, находящихся в районе ТЭС; а в качестве резервного – антрацит; также предусматривалась возможность сжигания их смесей. Расчетные параметры указанных топлив приведены в табл. 1.

Табл.1 Элементный и технический анализ расчетного топлива.

Компонент	Антрацит	Шлам
C^r, %	59,616	37,881
H^r ,%	1,1664	0,7452
S^r ,%	1,7496	1,1592
N^r ,%	0,5184	0,3312
O^r, %	1,7496	1,2834
Зольность A^r, %	25,2	50,6
Влажность W^r, %	10,0	8,0
Летучие, % (справочно)	4,0	5,0
Теплота сгорания Q_i^r, МДж/кг	20,7	12,923

В качестве одного из гарантийных топлив предусмотрена смесь шлама и антрацита с содержанием шлама от 85 до 100%. Гарантийная точка: смесь шлама и антрацита с содержанием шлама 85%. Гранулометрический состав сжигаемого антрацита фактически определяется условиями измельчения в молотковых дробилках, куда он направляется перед подачей в ЦКС-топку: по проекту максимальный размер частиц не превышает 3 мм.

Табл.2 Гарантийные показатели работы котлоагрегата блока №4 Старобешевской ТЭС.

Параметр	Значение
Паропроизводительность, т/ч.	670
Острый пар на входе в ЦВД:	
давление, МПа	12,75
температура, °С	540
Пар промперегрева на входе в ЦСД:	
температура, °С	540
Питательная вода на входе в котел:	
давление, МПа	18,0
температура, °С	244
Диапазон регулирования нагрузки (L) котла, % номинальной	50–100
Минимальная нагрузка, % ном.	40
КПД парогенератора, %:	
при L = 100%	90,5
при L = 50%	90,0
Расход топлива, т/ч.:	
АШ	95,390
шлам сухой	159,233

Система подготовки топлива ЦКС-котлоагрегата спроектирована для сушки мокрых шламов влажностью до 22,5%, которые поставляются из отстойников-накопителей

обогатительных фабрик, в качестве основного топлива. Проектная производительность сушилки по сухому (8% влажности) продукту составляет 220 т/час (по сырому шламу – 260 т/час). В состав системы входит: генератор горячих газов (ГГГ) ; вращающаяся барабанная сушилка (длиной около 25 м); пылеуловитель – рукавный фильтр; вспомогательное оборудование, в том числе электрооборудование, система контроля и КИПиА; дымовая труба (высотой ок. 40 м).

Пароводяной тракт. Основные гарантийные показатели работы ЦКС-котлоагрегата блока ст. №4 Старобешевской ТЭС приведены в табл.2.

Обеспечить указанные параметры призвана единая пароводяная система ЦКС-котлоагрегата, где используется принцип естественной циркуляции. В её состав входят следующие основные аппараты: барабан; испарительный контур; первичный пароперегреватель; вторичный (промежуточный) пароперегреватель; водяной экономайзер; пароохладители.

Первичный пароперегреватель состоит из трех основных ступеней: низкотемпературной степени, которая содержит: пароохлаждаемые подвесные трубы в конвективном газоходе; экраны конвективного газохода; пучок пароперегревателя, расположенный над экономайзером в конвективном газоходе; пучок пароперегревателя, расположенный в теплообменниках кипящего слоя (ТОКСах). Среднетемпературная ступень расположена в ТОКСах, а высокотемпературная – в конвективном газоходе.

Вторичный пароперегреватель состоит из двух основных ступеней: низкотемпературной ступени, расположенной в ТОКСах; высокотемпературной ступени, расположенной в конвективном газоходе между пучками перегревателя острого пара.

Таким образом, двухсекционные ТОКСы содержат: испарительные поверхности – 4 секции (по одной в ТОКСах №1, 2, 3, 4); поверхности перегрева пара – 2 секции (ТОКС №3 и №4) и промперегрева – 2 секции (в ТОКСах №1 и №2) [5].

Тепловая схема энергоблока №4 – моноблочная (котел–турбина) без поперечных связей с другими блоками по паропроводам высокого давления и питательной воды.

Организация технологического процесса сжигания в ЦКС на энергоблоке ст. №4 Старобешевской ТЭС подробно изложена в [5] и предусматривалась следующим образом. Исходный шлам (влажность 18–22%) сушится в барабанной сушилке до влажности 8%, после чего подается в приемные бункеры энергоблока. При использовании антрацита осуществляется его измельчение в молотковых дробилках до размера частиц менее 3 мм. Топливо (шлам, антрацит, или их смесь) подается в топку с помощью четырех транспортеров в четыре точки подачи – на склоны тепловых затворов, откуда самотеком попадает на под топки, где установлена газораспределительная колпачковая решетка кипящего слоя.

Топочная камера ЦКС-котла – прямоугольной формы, образована газоплотными сварными панелями, образующими часть испарительного контура. Нижняя часть топки разделена на две секции (pant-leg design или “штаны”). Под топки образуют две колпачковые решетки. Характерные размеры топочной камеры: высота – 40 м, глубина – около 13 м, ширина – около 11 м. Нижняя часть топки футерована (до уровня ок. 9 м). Сжигание топлива в ЦКС происходит при температуре 880–920°С, что ограничивает образование термических оксидов азота. Дополнительно в топку подается известняк для связывания оксидов серы. Изначально материал слоя состоит из инертных частиц стартового материала топки (обычно выжженная зола), который в процессе работы должен быть замещен золой сжигаемого топлива и частицами известняка.

Содержимое горючих веществ в циркулирующей массе слоя, как правило, составляет 2–4% общей массы слоя, что качественным образом отличает ЦКС-технологию сжигания от обычного пылеугольного.

Новый ЦКС-котлоагрегат использует систему естественной циркуляции пароводяной смеси. В основном пар генерируется в испарительных поверхностях котла, образующих топочную камеру. Дополнительные испарительные поверхности, поверхности перегрева и промежуточного перегрева пара размещены в выносных теплообменниках кипящего слоя (ТОКСах), находящихся снаружи боковых стенок котлоагрегата. Поверхности перегрева и промперегрева пара размещены также в конвективном газоходе котла. Непосредственное наличие в топочной камере ширмовых поверхностей не предусмотрено.

Отличительная особенность сжигания в ЦКС заключается в многократной циркуляции материала слоя благодаря системе возврата коксозольного остатка (КЗО). Конструктивно эта система по ЦКС-технологии Lurgi и

на блоке №4 Старобешевской ТЭС содержит: внешние циклоны (4 шт.), опускные подциклонные стояки, пневмозатворы, пиковые клапаны для перераспределения коксозольного потока между ТОКСами. Циклоны, опускные стояки и пневмозатворы предназначены для возврата частиц в топочную камеру и обеспечения (пневмозатвор) квазигазоплотного соединения между выходом (нижней частью) циклона и топочной камерой.

Для обеспечения экологических нормативов по очистке дымовых газов от частиц пыли на выходе конвективного газохода используется электростатический фильтр фирмы Alstom Power (Швеция), эффективность улавливания летучей золы которым превышает 99,9% и позволила обеспечить концентрацию пыли в уходящих газах менее 50 мг/нм^3. Управление котлоагрегатом основано на системе АСУ ТП Телеперм компании Сименс, Германия.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО АДАПТАЦИИ ЦКС-ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Рассмотренные выше критические элементы систем подготовки топлива и котлоагрегата, были модернизованы, а их эксплуатация усовершенствована на основании опыта пуско-наладочных работ. Суть мероприятий по адаптации ЦКС-технологии и модернизации оборудования приведены ниже.

Необходимость внедрения новых технических решений и модификации оборудования были определены по результатам пуско-наладочных работ 2008–2010 гг. К основным недостаткам эксплуатации котлоагрегата были отнесены: нестабильная работа циклонов (их зашлаковывание) и подциклонных стояков; перегревание и разрывы труб испарительных поверхностей, расположенных в выносных теплообменниках кипящего слоя (ТОКСах); ограничение производительности золоохладителей кипящего слоя (ЗОКСов) по выводу донной золы.

Устранение указанных недостатков проводилось в 2008–2010 гг. Плановая модернизация имеющегося оборудования котлоагрегата обуславливала приостановку «горячих» пусков энергоблока.

Модернизация тепловых затворов, подциклонных стояков и системы их управления. По результатам пуско-наладочных работ I–II кв. в 2009 г. и предыдущего опыта эксплуатации ЦКС-котлоагрегата блока ст. №4 Старобешевской ТЭС были приняты и в июле–сентябре 2009 г. реализованы технические решения по модернизации системы тракта возврата и контрольного измерительного оборудования.

Неудовлетворительная работа тракта возврата проявлялась в забивании циклонов, подциклонных стояков, отчасти пневмозатворов.

Отличительная особенность пневмозатворов до их реконструкции заключалась в наличие единого распредилительного короба воздуха, расположенного под приемной и переливной камерами затвора. Регулирование подачи воздуха в короб не предусматривалось (причем на всех режимах нагрузки котлоагрегата). После анализа возможных причин забивания циклонов, измерения скорости в подциклонном стояке, а также отбора проб коксо-зольного остатка (КЗО), поступающего в пневмозатвор, было принято решение о его модернизации.

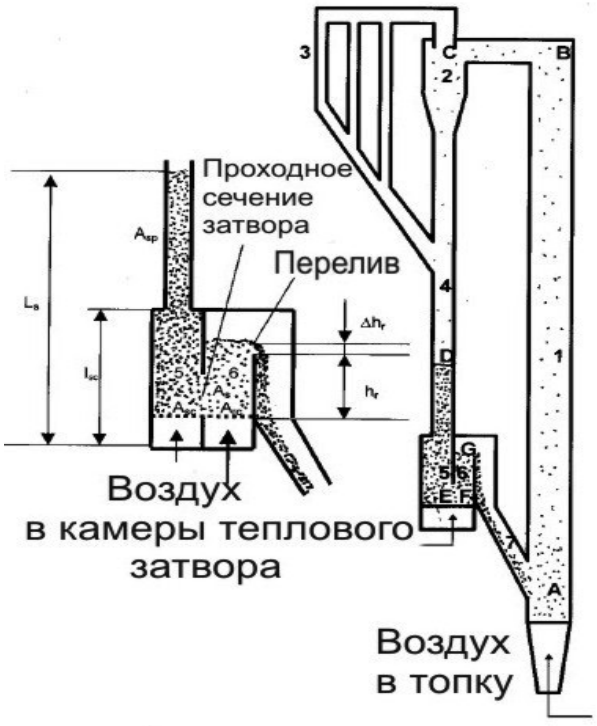

Рис.1 Принцип модернизации пневмозатвора: двухсекционная подача воздуха с возможностью регулирования на каждую секцию.

Основные механические работы по модернизации элементов тракта возврата включа-

ли: монтаж двухсекционных коробов воздуха (рис.1), отдельных воздухопроводов в каждый из коробов, оснащенных регулирующими клапанами (начало 2009 г.).

Дополнительно (сентябрь–октябрь 2009 г.) для контроля уровня псевдоожиженного слоя в подциклонном стояке (в нижней части золовода) были установлены датчики избыточного давления. Кроме того, датчики давления были устаонвлены и в камерах пневмозатвора. Сам опускной стояк был оснащен автоматизированной системой продувки.

Указанные мероприятия позволили установить оптимальные расходы воздуха на пневмозатвор, осуществлять продувку (аэрацию) золовода, а также оперативный контроль заполненности подциклонного стояка (по датчикам давления), предотвращая тем самым забивания циклонов.

Внедрение указанных мероприятий позволило избавиться от ненадежной работы тракта возврата и вызываемых ей простоев котлоагрегата (ранее работа без забивания циклонов длилась около недели с последующей остановкой на расшлаковку).

Модернизация испарительных поверхностей выносных теплообменников кипящего слоя (ТОКСов). Недостатки работы испарительного контура проявлялись в ненадежной работе испарительных поверхностей нагрева, расположенных в ТОКСах (четыре секции трубных пучков по одной в каждом ТОКСе). В некоторых случаях происходили разрывы труб и их перегрев, приводившие к внеплановому останову котла и прекращению пусконаладочных работ. В ходе модернизации испарительных поверхностей пучок слабонаклонных труб был заменен пучком S-образной компоновки (с наклоном труб в 100) в результате чего циркуляции пароводяной смеси была улучшена, непроектный перегрев труб практически ликвидирован. Изменения в систему конроля температуры заключались также в установке дополнительных термопар в верхней части пучка и их интеграция в АСУ ТП Телеперм.

Модернизация золоохладителей кипящего слоя (ЗОКов). В состав системы вывода донной золы входят два золоохладителя кипящего слоя (ЗОКС №1 и ЗОКС №2). Неудовлетворительной работа ЗОКСов становилась при переходе на повышенные нагрузки энергоблока (более 160-180 МВт). Следует отметить, что производительность ЗОКСов фактически определяет уровень концентрации материала в топочной камере, а, следовательно, и перепады давления в ней и тракте возврата. Ограничение производительности ЗОКСов по выводу донной золы или их аварийное отключение вызывало внеплановую остановку котлоагрегата из-за превышения предельно допустимого уровня перепада давления в топочной камере (более 19 кПа).

В ходе анализа были выявлены основные причины, ограничивающие работу ЗОКСов: 1) особенности конструктивного исполнения ЗОКСа; 2) режимные параметры его работы; 3) состав и характер плавления золы; 4) возможное слипание частиц донной золы (в основном во 2-й и 3-ей секциях ЗОКСа) с образованием крупноразмерных (от см до сотен см) коржей; 5) возможное спекание частиц донной золы (в основном в топке) с образованием крупных (1-5 см) агломератов с последующим их накоплением в 1-ой секции ЗОКСа; 6) блокировка шнека крупными кусками донной золы.

Основными причинами в числе указанных были соответственно: 1)-2) достаточно низкие линейные скорости в камерах (0,5-0,7 м/с); наличие застойной зоны по периметру первой (приемной секции), малые сливные отверстия, недостаточная производительность шнека, расположенного под ЗОКСом; высокие сопротивления по сбросу воздуха в топку из ЗОКСа и пр.; 3)-5) высокое содержание щелочных металлов (Na, K, Cl) в угле (в ряде поставок), приводившее к образованию низкоплавких эвтектик даже при незначительных температурах (500-600°С) в ЗОКСе.

В ходе модификации ЗОКСов были: увеличены скорости воздуха в камерах, изменена конфигурация газораспредилительной решетки, увеличена высота ЗОКСа, увеличена площадь сливных отверстий и изменена их конфигурация (на прямоугольные вместо круглых), установлены новые шнеки для удаления крупных агломератов.

Окончательное завершение модернизации ЗОКСов осуществлено в начале декабря 2010 г. с дальнейшим возобновлением «горячих» пусков ЦКС-котлоагрегата во второй декаде месяца.

Как отмечалось, указанные мероприятия по модернизации оборудования и совершенствованию технологической схемы ЦКС-процесса позволили успешно пройти как комплексное 72-часовое испытание (27-30 января 2011 г), так и гарантийные испытания (февраль-март 2011 г.), во время которых были достигнуты гарантийные показатели работы ЦКС-котлоагрегата.

© Майстренко А.Ю., Топал А.И., Лаварько А.В.

ВЫВОДЫ

На основании результатов пусков ЦКС-энергоблока ст. №4 Старобешевской ТЭС и его работы в 2011-2012 гг, а также с учетом положительного опыта внедрения новых технических решений по реализации технологии сжигания высокозольного антрацита и шлама в ЦКС можно сделать следующие выводы.

Новые технические решения, направленные на адаптацию ЦКС-технологий сжигания высокозольного антрацита (на энергоблоке ст. №4 Старобешевской ТЭС) и в энергетике Украины, позволяют: повысить надежность эксплуатации указанного оборудования; расширить диапазон регулирования мощности (40–100%) энергоблоков на их основе без использования природного газа для стабилизации процесса горения; а также достичь минимальных выбросов оксидов серы и азота (менее 200 мг/нм^3) и пыли (менее 50 мг/нм^3).

Технические решения, заложенные в основу модернизации оборудования систем ЦКС-энергоблока ст. №4 Старобешевской ТЭС (в том числе золоводов, тепловых затворов, испарительных поверхностей ТОКСов, ЗОКСов, системы АСУ ТП «Телеперм») существенно повышают надежность его эксплуатации, управляемость процесса сжигания и циркуляции твердой фазы.

С учетом результатов пуско-наладочных работ (2009–2010 гг.) и эксплуатации энергоблока ст. №4 Старобешевской ТЭС (2011-2012 гг.) доказана возможность эффективного сжигания высокозольного антрацита (смесей с шламом) на промышленном уровне, в том числе на высокой нагрузке (190–215 МВт).

Существенный рост внедрения ЦКС-технологии в мире на базе энергоблоков значительной электрической мощности (свыше 150 МВт) для сжигания угля разной степени метаморфизма (от биомассы до антрацита), в том числе низкореакционного (антрацита, нефтяного кокса) и со значительным содержанием золы (до A^d<55–60%) и серы (S^d <1–5%) свидетельствует о надежности и высокой степени готовности ЦКС-котлоагрегатов, существенных экономических и экологических показателях их эксплуатации. Это подтверждает необходимость дальнейшего внедрения этой технологии на ТЭС Украины с целью реконструкции существующих и сооружения новых эффективных энергоблоков, отвечающих современным европейским нормам на выбросы вредных веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Топал А.И. Современное состояние развития чистых угольных технологий в энергетике // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – №4. – С. 80-88.
2. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Топал А.И. Экологически чистые угольные энерготехнологии. – Киев : Наук. думка, 2004. – 187 с.
3. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю. Экологически чистые технологии сжигания и газификации высокозольных углей в кипящем слое // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – №5. – С. 3-10.
4. Maystrenko A.Yu., Gummel P., Cross P.J. The Ukrainian Strategy – Combustion Test and Design Philosophy for a 200 MWe Power Plant Firing Antracite // Power-Gen Europe-96 (Budapest, Hungary, 1996). – V.2. – Track 5 – Connects and Renewable Technologies. – Budapest: 1996. – P. 1-20.
5. Белый Г.В., Иванов В.И., Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Смирнов И.Х., Топал А.И., Шевченко В.А. Реализация технологии сжигания высокозольного антрацита и отходов его обогащения в циркулирующем кипящем слое на энергоблоке №4 (210 МВт) Старобешевской ТЭС// Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2011. – №6. – С. 3-11.