УДК 621.438:621.311.22

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОТЛОВ С ЦКС В КИТАЕ

Рябов Г. А, Ханеев К. В.

ОАО «Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО ВТИ), Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

В рамках соглашения о научной кооперации между ОАО «ВТИ» и институтом теплотехники Шеньянского университета выполнен анализ последних достижений в совершенствовании эксплуатации и конструкций котлов с циркулирующим кипящим слоем в Китае. Рассмотрены новейшие разработки и усовершенствования и дан ряд указаний по оптимальной эксплуатации. Они могут быть использованы при разработке и эксплуатации отечественных котлов с ЦКС

ВВЕДЕНИЕ

За последние два десятилетия технология котлов с ЦКС быстро развивалась и стала одной из самых экономически оправданных угольных технологий во всем мире, благодаря возможности сжигать топлива с широким диапазоном характеристик, отличной способности контролировать эмиссию вредных выбросов и хорошими манёвренными характеристиками. В Китае эта технология занимает непоколебимую позицию на рынке производства пара, тепловой и электрической энергии. В настоящее время, число работающих котлов с ЦКС в Китае составляет 3000, включая 32 блока по 300 МВт, еще 50 блоков по 300 МВт либо уже находятся в состоянии строительства, либо в скором времени планируется начать их создание. Среди всех этих котлов с ЦКС 18 блоков построены по лицензии Альстом, а другие по Китайским технологиям. Первый котел с ЦКС, разработанный по Китайской технологии, был запущен в 2008 году.

В статье рассмотрены новые подходы и требования к колам с ЦКС в связи с введением крайне жестких норм на вредные выбросы. Проанализирован опыт эксплуатации котлов с ЦКС в Китае [1] представлены новые технические решения, обеспечивающие снижение затрат электроэнергии на собственные нужды. Данные могут быть использованы при разработке и эксплуатации котлов с ЦКС в России и Украине.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ С ЦКС В КИТАЕ. ВЛИЯНИЕ НОВЫХ НОРМ НА ВЫБРОСЫ НА ПРИНЯТИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Начиная с 1990 года рост использования технологии сжигания топлив в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) в Китае происходил стремительно; год за годом увеличивалось как число, так и мощность новых установок (с 20 до 330 МВт [2]). Как следует из таблицы 1 [3], общая установленная мощность установок ЦКС насчитывает порядка 102000 МВт, что составляет порядка 12,1 % от всей мощности тепловой энергетической промышленности КНР. В настоящее время в КНР эксплуатируется наибольшее количество котлов с ЦКС в мире с наибольшей суммарной установленной мощностью.

На рабочей встрече участников соглашения по использованию технологии кипящего слоя при международном энергетическом агентстве был представлен доклад [4] о положении дел в Китае в связи с введением новых норм на вредные выбросы. На рисунке 1 показано количество блоков,

построенных при участии трех наиболее крупных китайских производителей котлов с ЦКС.

Таблица 1. Сводная таблица по установкам ЦКС в КНР.

Расход пара, т/ч	35-50	65-90	120-180	220-320	400-600	620-705	1025-1065
Мощность блока, МВт	6	12	25	50	135	200	300
Всего блоков	460	1480	380	330	210	23	76
Суммарная мощность, МВт	2760	17760	9500	16500	28350	4600	22800
Блоков в эксплуатации	460	1480	380	330	150	5	17
Общая мощность блоков, МВт	2760	17760	9500	16500	20250	1000	5100

**Примечание: Строка «Всего блоков» включает в себя подписанные объекты, которые включены в список эксплуатируемых объектов.*

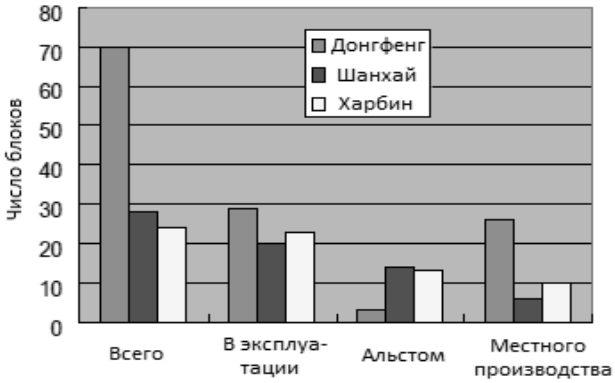


Рис.1 Число энергетических блоков с котлами ЦКС в Китае.

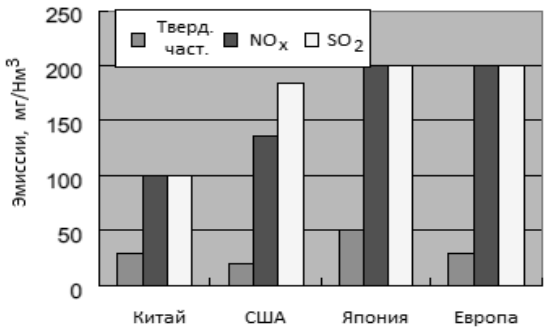


Рис.2 Сравнение норм на выбросы.

В сентябре 2011 года введены новые нормы на выбросы вредных веществ в Китае. Они являются самыми жесткими в мире. На рисунке 2 дано сравнение новых норм на выбросы в Китае с действующими нормами в США, Европе и Японии. В связи с введением новых норм в [4] рассмотрены возможности использования технологии ЦКС. Считается, что наиболее перспективно применять ее для сжигания топлив с низким выходом летучих.

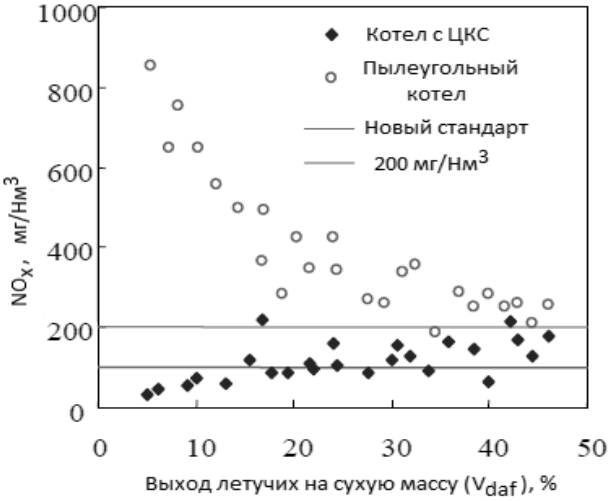


Рис.3 Влияние выхода летучих на выбросы оксидов азота по данным [4].

На рис.3 показано, что с ростом выхода летучих выбросы оксидов азота в котлах с ЦКС растут, тогда как для пылеугольных котлов они снижаются. Кроме того, для котлов с ЦКС очень эффективно применение простого способа некаталитического восстановления (рис.4).

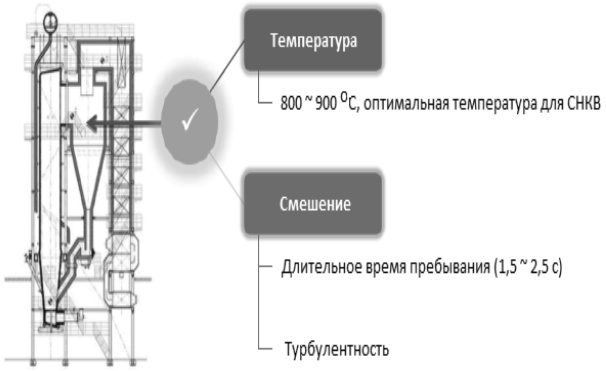


Рис.4 Оптимальное место ввода аммиака для подавления оксидов азота.

В [4] считается, что для топлив с содержанием серы 1 – 2 % применение котлов с ЦКС наиболее предпочтительно. При этом может быть использована NID технология для еще большего улавливания серы.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОТЛОВ С ЦКС В КИТАЕ

Технология ЦКС обладает рядом достоинств, однако, при эксплуатации возникают проблемы, которые негативно влияют на общие параметры эффективности и безопасности. Основные проблемные зоны котлов с ЦКС показаны на рисунке 5.

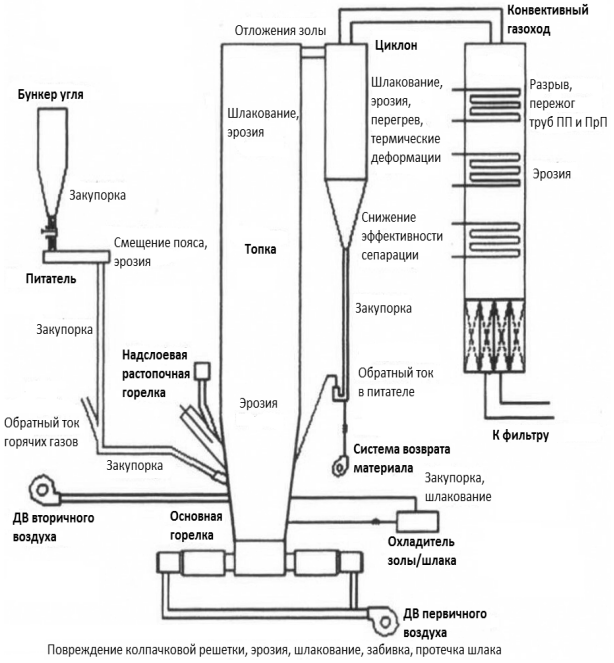


Рис.5 Основные проблемы, связанные с эксплуатацией котла с ЦКС.

Ряд проблем являются типичными для всех котлов с ЦКС, некоторые в большей мере характерны для котлов китайского производства.

1. Распределение первичного воздуха и опыт эксплуатации колпачковых решеток

В таблице 2 приведены 4 типа конструкции колпачков наиболее распространенных в котлах с ЦКС. Такие колпачки применяются на котлах с ЦКС повсеместно, колпачки типа 3 и 4 в основном применяются на китайских котлах малой и средней производительности. Основными проблемами воздушных колпачков является закупорка, шлакование, эрозия, отрыв колпачков и протечка шлака. В таблице 3 приведен список основных проблем для различных типов конструкций колпачков, а также способы их решения. Они могут быть применены при проектировании и эксплуатации на отечественных объектах.

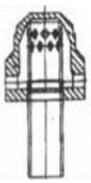
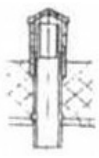
Как показывает практика, использование того или иного типа колпачков в воздухораспределительной решетке весьма значительно влияет на эксплуатационные показатели.

2. Проблемы с системой улавливания и возврата материала

Система состоит из циклона, опускного стояка и затвора. В ходе эксплуатации данной системы могут возникнуть следующие проблемы.

Снижение эффективности улавливания циклона

Таблица 2. Типы воздушных колпачков котлов с ЦКС.

Тип	Рисунок	Применение	Преимущества и недостатки	Основные проблемы
Колпачок крупного диаметра колокольчикового типа		Широко распространен, применяется на котлах заводов Харбина и Шанхая	Отсутствуют протечки донной золы, просты в замене, высокое сопротивление, большой вес, высокая стоимость	Закупорка, шлакование, эрозия смежных колпачков, отрыв колпачков
Колпачок крупного диаметра Т-типа		Применяется на котлах 440 т/ч шанхайского завода	Небольшое сопротивление, серьезно забиваются, большие протечки	Протечка донной золы
Цилиндрический колпачок малого диаметра		Используется на китайских котлах Вукси (Wuxi) (до 240 т/ч) и третьем поколении котлов Донгфенга (135-150 и 350 МВт)	Высокое сопротивление, большое количество, высокая стоимость изготовления и эксплуатации	Эрозия, закупорка

Существует большое количество факторов, влияющих на эффективность улавливания циклона, в том числе: геометрия самого циклона, его структура, скорость газов, их температура, концентрация твердых частиц и их гранулометрический состав. Основными причинами снижения эффективности являются:

- повреждение внутренней футеровки циклона из-за серьезности эрозионных процессов, ее деформации или осыпания, что приводит к изменению его внутренней геометрии,
- нарушение газоплотности циклона, и возникшие в результате присосы воздуха, которые крайне негативно влияют на аэродинамику циклона, способствуя повышенному уносу,
- снижение расхода циркулирующей золы, которое также приводит к снижению КПД циклона.

Еще одной причиной снижения КПД циклона является изменение геометрии выхлопного патрубка, отмеченной в ходе эксплуатации некоторых котлов в Европе. При снижении КПД циклона необходимо обратить внимание на наличие присосов или возникновение обратного тока газов, необходимо также выполнять контроль уровня эрозионного износа внутренней футеровки и ее своевременного ремонта (замены).

Шлакование в циклоне и системе возврата

Шлакование может возникать в результате нескольких причин:

- превышение установленной температуры сжигания,
- присосы, приводящие к дожиганию углерода в летучей золе,
- высокое содержание углерода в циркулирующей золе,
- малое количество циркулирующей золы.

Для предотвращения шлакования необходимо обеспечить гранулометрический состав материала максимально близким к проектным значениям. Необходимо постоянно следить за температурой в циклоне и при превышении допустимых значений, корректировать расходы топлива/воздуха, присосы должны оперативно выявляться и устраняться.

Загрязнение и закупорки в системе возврата

Об этом косвенно свидетельствует снижение уровня материала слоя (перепада давления в слое), причинами которого могут быть:

- шлакование в циклоне,
- падение отколовшейся панели футеровки, которая могла заблокировать стояк или затвор,
- пониженный расход воздуха в стояк и затвор.

Необходимо отметить, что эти причины были обнаружены в период наладки и пуска котла с ЦКС на Старобешевской ТЭС (Украина). Для решения этих проблем иногда приходится опорожнить стояк, сохраняя уровень слоя в подъемном участке затвора. По нашему мнению, необходимо обеспечить контроль перепада давлений по высоте стояка и четко регулировать расход воздуха в стояк и затвор.

Проскок топочных газов в затвор и стояк

Причинами данного явления может быть излишне малый уровень материала в подъемном участке затвора, неправильно уставленный расход воздуха на рециркуляцию, ошибки в проектировании, если проходное сечение затвора слишком велико или количество циркулирующей золы слишком мало.

На стадии проектирования необходимо убедиться в правильности выбора высоты подъемного участка, а проходное сечение должно соответствовать количеству циркулирующей золы. При проскоке газов в затвор, подачу воздуха необходимо приостановить до накопления соответствующей массы слоя.

3. Шлакование в топке

Признаками шлаковании в топке являются:

- неравномерная температура слоя, показания некоторых точек измерений фиксируются с большими отклонениями (200 °С и выше) и колебаниями. Процесс сжигания нестабилен. Показания температуры слоя в некоторых локальных точках превышают 1000 °С или не меняются,
- падение давления слоя и колебание давления в воздушной камере, иногда не обновляются показания давления слоя,
- при постоянном расходе воздуха возникает колебание значения содержания кислорода, иногда резко падает до нуля с последующим ростом до значений, превышающих нормальные,
- нагрузка, температура пара на основной линии и линии промперегрева существенно колеблются в показаниях,
- при осмотре топки через смотровые лючки можно увидеть белые вспышки, сопровождающиеся локальным движением шлака и частиц материала слоя в неестественном направлении.

Причины и методы борьбы с шлакованием приведены в таблице 3.

4. Эрозия поверхностей нагрева и футеровочных материалов

Согласно статистике аварийных остановов котлов с ЦКС в Китае, эрозионный износ поверхностей нагрева может считаться причиной более чем 80 % случаев. Из них подавляю-

щее большинство можно характеризовать как случаи разрыва труб вследствие прямых процессов эрозии, так и косвенных (после разрушения слоя защитной футеровки). Основные области эрозии метала и ее причины приведены в таблице 4 [5].

Для исключения или снижения процессов эрозии применяют:

- выбор соответствующих марок стали. Обычно для поверхностей нагрева, работающих в окислительной среде, применяют низкоуглеродистую и легированную сталь. Для коррозионно агрессивных и восстановительных сред необходимо применять защитную футеровку,
- применение противоэрозионных конструкций и компоновок. Взаимное расположение то-

Таблица 3. Причины шлакования и способы борьбы с ним.

	Причины	Способы решения
Ошибки в проекте или монтаже	Низкое сопротивление колпачковой решетки, неравномерная раздача воздуха, скопление материала слоя в областях с высокой температурой	Сопротивление колпачковой решетки должно составлять примерно 25 – 30 % от сопротивления слоя материала
	Недостаточная поверхность экранов в области плотного слоя. При сжигании высококалорийных углей слой перегревается	Рациональная компоновка топки поверхностями нагрева
	Дефекты колпачков из-за некачественной стали или монтажа приводят к локальному накоплению материала слоя и локальному перегреву	Выбор соответствующего материала для колпачков, (температуры свыше 1050 °С), проверка качества сварных швов
	Нехватка мощности вентиляторов первичного воздуха или воздуха высокого давления на ожижение в системе возврата	Правильный выбор ТДМ, обеспечивающего необходимый запас; режимная настройка расходов воздуха
	В результате отрыва кусков футеровки и их падения на решетку локально прекращается ожижение	Проверка качества материалов футеровки и их креплений
Неправильная эксплуатация	Плавкость золы топлива, большое количество крупных кусков топлива (ухудшение локального ожижения), высокое содержание мелочи (пережог в верхней части топки или в циклоне	Строгий контроль качества поступающего угля и размера частиц
	Уровень материала слоя слишком низок	Поддержание уровня слоя в требуемых пределах с помощью удаления донной золы
	Низкий расход воздуха с недостаточным ожижением за длительный период времени	Поддержание расхода воздуха на уровне выше, требуемого для ожижения
	Подача угля при низкой температуре слоя или чрезмерная подача топлива во время розжига	Подача угля согласно показаниям температуры в плотном слое
	Не отрегулированная работа системы подачи топлива	Время от времени каждый сигнал должен проверяться дублирующим прибором
	Сбой в работе системы возврата материала со снижением или даже отсутствием расхода возвратного материала	Расход воздуха высокого давления должен держаться строго в заданных пределах
	Сбой в работе системы золоудаления, донная зола либо не удаляется совсем, либо удаляется слишком быстро, что приводит к снижению уровня слоя	Производить удаление донной золы следует с небольшими промежутками по времени, но как можно чаще
	Открытое пламя	При появлении пламени следует отключить подачу угля и быстро остановить ТДМ до начала снижения температуры

чек систем подачи топлива, циркуляции и распределения материала, воздуха, геометрия топки и ее элементов выбирается с учетом возможного эрозионного износа. Необходимо смонтировать элементы защиты труб поверхностей нагрева от абразивного и эрозионного износа,

- металлические поверхности, которые могут подвергаться эрозии, требуют обработки для повышения их противоэрозионных свойств, включая термонапыления, гальванопокрытия, термической обработки, азотирования, нанесение коррозионностойкого слоя погружением и так далее,
- необходимо уделять особое внимание качеству изготовления и монтажа, постоянно обучать эксплуатирующий персонал, контролировать качество поступающего угля, контролировать скорость роста температуры слоя и так далее.

Меры противодействия процессам эрозии в основном соответствуют известным мероприятиям, применяемым ведущими западными компаниями «АЛЬСТОМ» и «Фостер-Уиллер». Наибольший интерес представляют данные по эрозии в нижней части топки и колпачковой решетке, публикаций по которым до сих пор было мало.

Основные зоны эрозии колпачковой решетки располагаются возле точек ввода топлива, точек возврата материала и шлакоудаления, как показано на рисунке 6 [6].

Для предотвращения эрозии решетки применяют высокотемпературные сплавы, стойкие к износу, деформации, окислению. Используют специальные меры при проектировании топки, контроль качества и размеров угля, регулярную очистку воздуховодов и воздушных камер от скопившейся золы. Следует по возможности, увеличить выходные отверстия и шаги колпачков одного ряда.

5. Вспомогательные системы

Имеется ряд проблем вспомогательного оборудования котла с ЦКС. Они известны и

Таблица 4. Основные области эрозии метала в котлах с ЦКС и ее причины.

Области эрозии		Причины	Степень износа
Элементы колпачковой решетки		Истирание материалом слоя и отрывы наростов у выходного окна системы возврата	Высокая
Экраны ограждения	Переходная зона в нижней части топки	Образование завихрения и истирание опускными потоками	Крайне высокая, 5 – 6 мм за 1000 ч работы
	Углы топки	Высокая концентрация материала в опускных потоках	Высокая
	Стены конвективных зон	Образование и отрывы наростов	Незначительная
	Элементы ограждения	Плотная фаза, возмущения потока	Высокая локально
Колпачки, сопла вторичного воздуха		Возмущение потоков плотного слоя	Средняя
Поверхности нагрева	Ширмовый пароперегреватель	Истирание материалом слоя, аналогично экранам ограждения	Относительно низкая
	Двухсветный экран	Турбулентный слой с пузырями и струями	Крайне высокая, 5 – 6 мм за 1000 ч работы
Потолочные поверхности нагрева		Завихрение потока	Относительно низкая
Внешний теплообменник		Микровибрации	Незначительная
Конвективные поверхности нагрева		Высокая местная скорость частиц,высокая абразивность частиц летучей золы	Высокая локально

возникают в том числе и на пылеугольных котлах, наибольший интерес вызывают вопросы эксплуатации специфических систем охлаждения материала слоя.

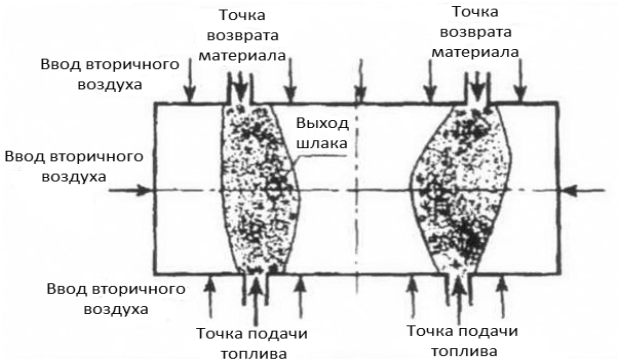


Рис.6 Основные области эрозионного износа воздушных колпачков.

Системы розжига котлов с ЦКС прошли довольно длинный путь эволюции от розжига угольного остатка, систем надслоевого розжига до способов подслоевого розжига (форкамеры) и комбинированных систем надслоевого и подслоевого розжига, применяемых на различных котлах в зависимости от размера установки и типа используемого топлива. Применительно к отечественным условиям наилучшим вариантом является система комбинированного розжига.

Потребление мазута при пуске котла с ЦКС является одним из важнейших экономических показателей установки. Существует несколько способов экономии мазута:

- поддержание соответствующей высоты материала слоя и его гранулометрического состава (высота слоя в основном зависит от зольности топлива). Необходимо учитывать температуру воспламенения угля, при низкой температуре пусковая высота слоя может быть уменьшена;

- полноценное использование надслоевых и подслоевых форсунок. При пуске расход топлива через надслоевые форсунки должен быть минимизирован;

- надлежащий контроль за подачей воздуха в топку во время пуска котла. Необходимо снизить расход подаваемого воздуха непосредственно перед подачей топлива до минимальных значений по условиям ожижения;

- использование в качестве пускового топлива специально подготовленного высококалорийного угля с высоким выходом летучих. Этот метод при должном контроле влажности и помола может существенно снизить потребление мазута;

- повышение температуры питательной воды перед пуском или прогрев вспомогательными средствами до 80 °С или выше;

- запрет на использование растопочных и нагрузочных форсунок на вышедшем на режим котле (температура слоя достигла 800 °С).

В ВТИ на основе одномерной динамической математической модели был выполнен расчет ряда пусковых режимов, который полностью подтверждает приведенные выше эксплуатационные рекомендации.

Использование охладителей золы играет важную роль в снижении тепловых потерь с донной золой, причем повышается КПД котла. Крайне важно устанавливать охладители на котлах, сжигающих низкокачественные, низкокалорийные и высокозольные угли. В китайской практике применяются пять типов охладителей золы – это воздушно-водяной комбинированный охладитель, барабанный охладитель, шнековый охладитель, конвейерный охладитель и охладитель золы в плотном кипящем слое. Если при одновременном вводе в работу всех охладителей расход воздуха на ожижение в них не превышает 8 % от общего расхода, то лучше применять воздушно-водяные охладители, в противном случае – барабанные.

СНИЖЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ЗА СЧЕТ ТЕХОЛОГИИ СЖИГАНИЯ С МАЛЫМ ПЕРЕПАДОМ В СЛОЕ

В Tshinghua University, положив в основу традиционный расчет котлов с ЦКС, разработали новую методику расчета с переработанной моделью ожижения в топке, которая включает в себя сниженный перепад давления в слое и учет качества материала слоя [7]. Данная методика отработана на котле с паропроизводительностью 75 т/ч и блоке 300 МВт, результаты работы которых наглядно продемонстрировали существенное снижение эрозионного износа и снижение затрат на собственные нужды [8].

В настоящее время идет строительство или уже введено в эксплуатацию большое число установок нового поколения подобного типа, ожидается, что эффективность этих агрегатов окажется на одном уровне с пылеугольными бло-

ками, при сохранении преимуществ технологии ЦКС в части потребляемого топлива и вредных выбросов. В 2009 году при строительстве блока 300 МВт на станции Лонгъян (Longyan), провинция Фуджиян (Fujian), была применена новейшая технология ожижения на котле донгфенгского (Dongfang) котельного завода.

Анализируя составляющие затрат на собственные нужды крупномасштабных установок с ЦКС различных технологий, донгфенгский котельный завод предложил концептуальную (схожую по техническим решениям топки и системы возврата с котлами компании Альстом) конструкцию блока, сочетающую в себе простоту эксплуатации, надежность и относительно невысокую стоимость изготовления. Первой особенностью данного котла является однокамерная топка с единой воздухораспределительной решеткой, что позволило отказаться от запаса напора (около 5 кПа), необходимого для предотвращения опрокидывания массы слоя, характерного для конструкции топки типа «штаны» (с разделенной воздухораспределительной решеткой) [8]. Второй особенностью котла стал отказ от теплообменников кипящего слоя (КС), перегреватели острого и вторичного пара, были расположены в топке и конвективном газоходе, таким образом, данная мера позволила отказаться от использования дутьевого вентилятора на ожижение высокого давления. Наконец, вместо РВП был использован ТВП, что привело к снижению присосов и потребляемой мощности дутьевого вентилятора. Только данные три меры позволили добиться снижения затрат на собственные нужды котла примерно на 0,7 – 0,9 %.

Был произведен тщательный подбор производительности тягодутьевого оборудования. Ввиду работы с более низким перепадом давления в слое, номинальные мощности дутьевых вентиляторов первичного (PDF) и вторичного (SDF) воздуха на новом блоке Фуджиянской станции пропорционально снижены. На электродвигатели этих вентиляторов были установлены устройства регулирования частоты вращения для оптимизации затрат при работе блока на частичных нагрузках. Охладитель донной золы, выполненный по технологии кипящего слоя, был заменен водоохлаждаемым охладителем барабанного типа, который потребляет не более 90 % энергии по сравнению с КС.

При применении всех нововведений в конструкцию, снижаются затраты на собственные нужды всего котельного острова. По сравнению с котлом со схожими характеристиками (котлом компании Баолихуа), созданным Донгфенгским котельным заводом, затраты на собственные нужды снизились с 6,8 до 4,5 %. В таблице 5 приведены эксплуатационные характеристики котлов ЦКС в Фуджияне и Баолихуа при одних и тех же нагрузках, сжигаемом топливе, схожей конструкции и компоновки.

Таблица 5. Сравнительные показатели традиционных и новых блоков 300 МВт в Китае.

Параметр	Блок в Фуджияне	Блок в Баолихуа
Давление в воздушной камере, кПа	10	15
Затраты на работу PDF, %	0,827	1,221
Затраты на работу SDF, %	0,724	0,948
Затраты на собственные нужды, %	4,5	6,8
КПД котла, %	89,3	89,5
Содержание углерода в летучей золе, %	12,1	12,8

Для пылеугольных котлов той же мощности, снабженных установками сероочистки дымовых газов, потребности в энергии на вспомогательные нужды составляют более 6 %. Результаты, показанные на стации в Фуджияне, доказывают, что крупные блоки ЦКС могут уверенно конкурировать в показателях потребления энергии на собственные нужды (главный, как считается, недостаток технологии ЦКС) с пылеугольными агрегатами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Богатый опыт эксплуатации котлов с ЦКС выявил ряд сложных проблем, негативно влияющих на эффективность и безопасность работы установки. Некоторые из них являются общими для всех подобных котлов, а некоторые в большей мере связаны с качеством низко-

сортных углей Китай и упрощенными техническими решениями. Разработаны и апробированы различные усовершенствования и дан ряд указаний по оптимальной эксплуатации. Они могут быть использованы и при разработке отечественных котлов с ЦКС. Этот опыт также важен с учетом роста мощности вновь вводимых блоков и размеров котлов, которые обостряют проблемы распределения воздуха и тепловых потоков, неравномерности возврата материала в мультициклонных системах, пульсации крупногабаритных частей топки и так далее.

Учитывая, что низкосортные угли КНР во многом схожи с российскими и украинскими, важным представляются рекомендации по оптимизации конструкции и режимов эксплуатации систем розжига и удаления донной золы. Для наших условия наиболее приемлема комбинированная система розжига с относительно большой долей подслоевых (форкамеры) горелок. Для высокозольных топлив с меняющимися характеристиками возможно применение опыта котлов с ЦКС в Китае с барабанными охладителями золы. При умеренной зольности оптимальным является шнековый охладитель донной золы.

Статья подготовлена в рамках соглашения о научной кооперации между ОАО «ВТИ» и институтом теплотехники Шеньянского университета.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. Cheng, J. Zhang, Z. Luo and K. Cen, Problems with circulating fluidized bed (CFB) boilers in China and their solutions, VGB PowerTech, 10, 2011, pp. 60-69.
2. Luo Z.Y., and Cen K.F: Research and Devel¬opment on Circulating Fluidized Bed Com¬bustion Technology in China. Proceedings of the 8th International Conference on Circulat¬ing Fluidized Beds, Hangzhou, 2005: pp. 56 to 67
3. Li J.F., Hao J.H.: Statistics and Analysis of Circulating Fluidized Bed Boiler Unit in China. Power Technology. 2009(10): 70-74
4. H. Yang, H. Zhang, G. Yue, The Influence of the New Emission Standart on the CFB Boiler in China and the Solutions, 64-th IEA FBC Meeting, June, 3, 2012, Naples, Italy.
5. Yang J. Q., Zeng T.H., et al.: Optimization and Improvements of Large-scale CFB Boiler. China Electric Power Press (2010).
6. Wu W.C.: Discussion of the Problem on Effi¬ciency and Abrasion of CFB Boiler. Journal of Electric Power Science and Technology. 2007(22): pp. 89 to 92.
7. Su. J., Zhao. X., and Zhang. J.: Design and Operation of Circulating Fluidized Bed Boiler with Low Bed Inventory, in: Y. Yue (Eds). 20th International Fluidized Bed Combustion Conference, May 21-23, 2009, Xian China.
8. Li. J., Mi. J., Hao. J. el al.: Operational Status of 300MWE CFB Boiler in China, In: G.Yue (eds.), 20th International Conference on Flu¬idized Bed Combustion. Xi'an,. 2009, China.