

КОНСТРУКТОРСКИЕ РЕШЕНИЯ ОАО «СИБЭНЕРГОМАШ» ПО ПЕРЕВОДУ КОТЛОВ, РАБОТАЮЩИХ НА КАНСКО-АЧИНСКИХ УГЛЯХ, С ЖИДКОГО ШЛАКОУДАЛЕНИЯ НА ТВЕРДОЕ ШЛАКОУДАЛЕНИЕ

В.А. Илясов, А.Г. Хворов, Ю.Г. Сокольников, Г.Н. Хрусталева, С.И. Коломенский

В настоящее время имеются тенденции к ухудшению качества топлива (увеличение зольности, изменение плавкостных характеристик золы и т.д.), выработке или закрытию многих угольных месторождений и разработке новых месторождений.

Котлы, спроектированные для работы с жидким шлакоудалением, показывали надежную и экономичную работу в длительной эксплуатации, но с ухудшением качества или изменением характеристик топлива (или заменой топлива) появился ряд проблем снижающих надежность работы котлов. Это интенсивное шлакование поверхностей нагрева и затруднение с выходом жидкого шлака, что требует постоянной подсветки дорогим мазутным факелом. Кроме того, котлы с жидким шлакоудалением имеют значительно более высокие выбросы оксидов азота.

Для решения выше изложенных проблем целесообразным и экономически обоснованным является перевод котлов с жидкого шлакоудаления на твердое.

Для решения этих проблем ОАО «Сибэнергомаш» предлагает перевод котлов с жидкого шлакоудаления на твердое шлакоудаление с изменением топочно-горелочных устройств и схемы сжигания топлива, с использованием нижнего дутья, третичного дутья (ступенчатое сжигание) и ввода газов рециркуляции в зону активного горения.

Основными трудностями, с которыми приходится сталкиваться при проведении реконструкции при минимальном её объеме:

- сохранение существующих габаритов котельной ячейки;
- максимально-возможное сохранение элементов котла;
- сохранение каркаса котла (максимально-возможное);
- ограниченные объемы финансирования.

Все это не позволяет в полной мере осуществить все возможные технические решения и объемы реконструкции (увеличение габаритов топки, замена котельно-вспомогательного оборудования, изменение хвостовых поверхностей нагрева, оптимизация поверхностей нагрева пароперегревателя и др.).

Тем не менее, ОАО «Сибэнергомаш» выполнило рабочие проекты реконструкции ряда котлов с переводом на твердое шлакоудаление, с различными схемами сжигания топлива, с учетом специфики каждой электростанции:

1. Котел БКЗ 220-100ФЖШ - ТЭЦ Юргинского машиностроительного завода. Котел паровой, барабанный, стационарный, вертикально-водотрубный с естественной циркуляцией, уравновешенной тягой, П-образной компоновки. Топочно-горелочное устройство существующего котла представляет собой топочную камеру размером 7744мм x 8640мм, четыре горелки с плоскопараллельными струями (ППС) расположены на фронтальной стене в 1 ярус (отметка 10550мм). Нижняя часть топки ошпирована, фронтальная и задняя стены топки образуют скат с углом 15°. Система пылеприготовления представлена 4-мя молотковыми мельницами ММТ 1300/2564/735 с шахтными сепараторами. Топочно-горелочное устройство и система пылеприготовления предназначены для сжигания ирша-бородинского бурого угля при жидком шлакоудалении.

Основная цель реконструкции - перевод котлов на сжигание углей Кузнецкого бассейна с твердым шлакоудалением (резервное топливо газ), увеличение паропроизводительности с сохранением номинальных параметров пара, внедрение технологических методов подавления образования оксидов азота (NOx).

Топочно-горелочное устройство существующего котла не может быть использовано для сжигания кузнецких каменных углей марки Г и Д разреза «Караканский», температура на выходе из зоны активного горения (ЗАГ) и температура на выходе из топки превышает рекомендуемую даже при нагрузке 220 т/ч.

Видимое решение – поворот горелок вниз, способствует увеличению провала негоревших частиц в холодную воронку, а также снижает температуру газов на выходе из топки ниже рекомендуемой для данного типа топлива.

Это приводит к увеличению механического недожога (q_4) с провалом, шлакованию экранов топки в ЗАГ и невозможности получения пара с номинальными параметрами ($t_{пе}=540^{\circ}\text{C}$) при нагрузке 220 т/ч.

Следовательно, для сжигания нового топлива необходимо изменить топочно-горелочное устройство и пароперегреватель.

При переходе на сжигание кузнецкого каменного угля и твердое шлакоудаление топочная камера заменяется на новую, газоплотную, выполненную из цельносварных мембранных панелей заводского изготовления. Размеры топки по осям труб сохранены старыми 7744x8640 мм. В нижней части топки фронтальной и задний экраны образуют скаты «холодной» воронки, с углом наклона к горизонту 50° . В верхней части топки панели заднего экрана образуют аэродинамический выступ, предназначенный для улучшения аэродинамики газового потока на выходе из топки и частичного затенения второй ступени пароперегревателя (ширм).

Топка реконструированного котла оборудована 4-мя горелочными устройствами с плоскими параллельными струями (ППС), 4-мя растопочными газомазутными горелками, системой нижнего дутья (СНД), 5-ю соплами газов рециркуляции.

Горелочные устройства ППС установлены на фронтальной стене котла. Каждое горелочное устройство ППС состоит из 2-х щелевых пылегазовых горелок, расположенных вертикально и наклоненных вниз на 15° и комплектуется с шахтным сепаратором молотковой мельницы. Для сжигания природного газа в каждую горелку встраивается газовый коллектор с рассредоточенной подачей газа по высоте камеры смешения. Горелочные устройства предназначены для раздельного сжигания в них угольной пыли и природного газа.

СНД представляет собой воздушные сопла, расположенные на наклонных экранах холодной воронки по встречно-смещенной схеме. Применение СНД технологии ступенчатого сжигания топлива позволяет снизить концентрацию оксидов азота (C_{NOx}) в выбросах котла. Кроме того, подача части воздуха, необходимого для организации горения топлива, ниже горелок, в холодную воронку снижает вероятность шлакования экранов. Наклон горелок вниз и применение СНД приводит к тому, что факел смещается вниз, растягивая зону активного горения (ЗАГ), увеличивается тепловосприятие экранов холодной воронки, этим объясняются эффекты сниже-

ния температуры газов на выходе из ЗАГ и топки, уменьшения шлакования поверхностей нагрева топки и пароперегревателя и снижения генерации NOx . Воздух, подаваемый через СНД, создает вихрь в районе холодной воронки, что способствует многократной циркуляции частиц топлива в ЗАГ и уменьшению потерь топлива с провалом (q_4).

Для защиты заднего экрана от возможного наброса на него факела и снижения температур в ЗАГ вводятся газы рециркуляции через 5 сопел, расположенных на задней стене топки. Ввод газов рециркуляции в топку способствует дополнительному снижению концентрации NOx в выбросах котла, улучшению аэродинамического процесса в ЗАГ.

Новое топочно-горелочное устройство котла обеспечивает:

- нагрузку котла – 250 т/ч;
- номинальные параметры пара в диапазоне $(75\div 100)\%$ от $D_{\text{ном}}$;
- бесшлаковочную работу топки и пароперегревателя;
- нормативное значение концентрации $\text{NOx} = 540\text{ мг/м}^3$ при $\alpha = 1,4$;
- снижение потерь топлива с провалом (q_4).

Установленные мельницы ММТ 1300/2564/735 с шахтными сепараторами (4шт.) сохраняются. Размольная производительность мельниц при работе на караканском угле позволяет обеспечить паропроизводительность 250 т/ч.

Сушильный агент, состоящий из горячего воздуха после воздухоподогревателя и холодного с температурой 30°C , позволяет высушить необходимое количество топлива.

Так как нет возможности установить на мельницах другие сепараторы пыли, шахтные сепараторы реконструированы таким образом, чтобы осуществить подачу пыли от одной мельницы на две горелки, расположенные одна над другой по высоте топки.

Конструкция существующего пароперегревателя не обеспечивает номинальную температуру пара при нагрузке 250 т/ч. Поэтому все поверхности пароперегревателя реконструированы. Для увеличения надежности работы ширм вместо двух последовательно включенных ширм установлена одна. Поверхности пароперегревателя увеличены, исходя из конструкции горизонтального газохода, который остается неизменным. Сопротивление пароперегревателя несколько увеличивается при увеличении нагрузки котла с 220 т/ч до 250 т/ч.

Экономайзер и воздухоподогреватель остаются без изменений.

Существующие дымососы и дутьевые вентиляторы обеспечивают работу котла при $D_{ном}=250$ т/ч.

Для подачи в топку газов рециркуляции, отбираемых за дымососами, устанавливается один дымосос рециркуляции ДРГ-13,5у, $n=1500$ об/мин.

Таким образом, в новом проекте котла использованы последние наработки завода и научно-исследовательских институтов, позволяющих повысить надежность работы котла, с обеспечением высокой экономичности и нормативных выбросов NO_x .

При сохранении каркаса, барабана, экономайзера и воздухоподогревателя, системы пылеприготовления (кроме шахтного сепаратора) спроектирован котел с номинальной производительностью 250 т/ч, установленный в ячейке котла БКЗ 220-100 ЖШ.

Данный проект реализован в металле.

2. Котел БКЗ 420-140ПТ-2 - Абаканской ТЭЦ. Паровой котел БКЗ 420-140ПТ-2 ст.Н4 однобарабанный, вертикально-водотрубный, с естественной циркуляцией, предназначенный для получения пара высокого давления.

Топочная камера – полукрытого типа. Фронтальной и задней экраны образуют выступы в топку («пережим»), отделяющие камеру горения от камеры охлаждения. Камера горения выполнена в виде двух сообщающихся восьмигранных предтопок, каждый из которых оборудован четырьмя прямоточными тангенциально расположенными горелками. Восемь сбросных горелок размещены выше основных.

Система пылеприготовления с прямым вдуванием и установкой четырех мельниц типа ММТ 1500/2510/735 ($R_{90}=57\%$). В качестве сушильного агента использована смесь топочных газов и «холодных» дымовых газов, отбираемых за дымососом.

Топочно-горелочное устройство и система пылеприготовления предназначены для сжигания ирша-бородинского угля при жидком шлакоудалении.

Котел был реконструирован по проекту СибВТИ с переводом на твердое шлакоудаление, с увеличением топки и установкой подовых горелок. Заказчик посчитал нецелесообразным принимать в эксплуатацию котел с опытно-промышленным топочно-горелочным устройством.

Основные цели реконструкции котла БКЗ-420-140 ПТ-2 (реконструированного по

проекту СибВТИ) - перевод котлов на сжигание ирша-бородинского угля с твердым шлакоудалением и отработанным топочно-горелочным устройством, сохранение паропроизводительности котла 420 т/ч с прежними параметрами пара, сохранение существующей топки, оборудования пылесистем и тягодутьевых машин.

При реконструкции топочная камера остается прежняя. Вместо существующих подовых горелок на фронтальной и боковых стенах топки устанавливаются тангенциально в два яруса 12 прямоточных горелок и 4 воздушных сопла по двух вихревой схеме. На скатах холодной воронки устанавливаются сопла нижнего дутья по встречно-смещенной схеме.

На реконструированном котле сохраняется система пылеприготовления с прямым вдуванием с установкой четырех мельниц типа ММТ 1500/2510/735. Сушка топлива осуществляется смесью топочных газов и газов отбираемых за дымососом.

«Холодные» дымовые газы, подаваемые в пылесистему, используются для регулирования температуры сушильного агента и для снижения температуры факела в ядре горения. Кроме того, предусмотрена возможность подачи газов рециркуляции в воздушные сопла на задней стенке топки как дополнительное средство управления топочным процессом с точки зрения обеспечения бесшлаковочной работы поверхностей нагрева, температуры перегретого пара и режима работы горелок на пониженных нагрузках котла. Расчетная величина рециркуляции «холодных» дымовых газов составляет 20%.

При разработке топочно-горелочного устройства приняты меры к снижению выбросов NO_x и обеспечению бесшлаковочной работы топки и пароперегревателя.

Расчетная температура газов на выходе из зоны активного горения составляет $\vartheta_{заг}'' = 1265$ °С, на срезе ширм - 1130 °С, перед конвективным пароперегревателем - 960 °С. Все вышеупомянутые величины не превышают пределов допустимых по условиям шлакования и загрязнения при сжигании проектного угля.

На сопла нижнего дутья принята подача горячего воздуха в количестве 20% от теоретически необходимого для горения. Через четыре сопла на задней стене топки, установленных на уровне горелок, подается также горячий воздух в смеси с «холодными» дымовыми газами. Таким образом, происходит стадийное сжигание в горизонтальной плоскости.

Характерным для аэродинамики данной топки являются высокие тангенциальные скорости газов в пристенной области, приводящие к дополнительному снижению температуры в конце топки. Расчетные величины теплонапряжений в топке (q_f , $q_{лг}$), температуры на выходе зоны активного горения ($\vartheta''_{заг}$) и на выходе из топки ($\vartheta''_т$) находятся в допустимых пределах.

Для подачи «холодных» газов рециркуляции используются установленные дымососы рециркуляции типа ДН-15 с замененными электродвигателями (1500 об/мин)

Принятые технические решения обеспечивают:

- надежную работу котла с твердым шлакоудалением на номинальной нагрузке при сжигании ирша-бородинского угля по схеме прямого вдувания с сохранением увеличенной по проекту СибВТИ топки и оборудования систем пылеприготовления;

- сохранение номинальных параметров пара в диапазоне 60-100% номинальной производительности;

- высокие экономические (КПД котла ~ 90,0 %) и экологические (NO_x - 320 мг/м³) показатели;

- минимальная нагрузка котла без подсветки факела мазутом не менее 60% номинальной производительности.

Данный проект реализован в металле.

3. Котел БКЗ 320-140ПТ-2 - ТЭЦ ППГКО г. Краснокаменск. Паровой котел БКЗ 320-140ПТ-2 ст.Н1 однобаранный, вертикально-во-дотрубный, с естественной циркуляцией, предназначенный для получения пара высокого давления.

Топочная камера – полукрытого типа. Фронтальной и задней экраны образуют выступы в топку («пережим»), отделяющие камеру горения от камеры охлаждения. Камера горения выполнена в виде двух сообщающихся восьмigrанных предтопок, каждый из которых оборудован четырьмя прямоточными тангенциально расположенными горелками. В «пережиме» на фронтальной и задней экранах размещены восемь встречных сбросных горелок.

Система пылеприготовления с промбункером и установкой четырех мельниц типа ММТ 1500/2510/735 ($R_{90}=57\%$). В качестве сушильного агента использована смесь топочных газов с воздухом после первой ступени воздухоподогревателя.

Топочно-горелочное устройство и система пылеприготовления предназначены для

сжигания харанорского бурого угля марки БР при жидком шлакоудалении.

Основные цели реконструкции котла БКЗ-320 ПТ-2 - перевод котлов на сжигание уруйского бурого угля при твердом шлакоудалении, сохранение паропроизводительности котла -320 т/ч с прежними параметрами пара, внедрение системы пылеприготовления прямого вдувания с сохранением установленных мельниц, предотвращение шлакования топки и пароперегревателя, обеспечение нормативных выбросов NO_x за котлом.

При переходе на сжигание уруйского бурого угля топочная камера заменяется на новую, газоплотную, выполненную из цельносварных экранов, с 8-ю прямоточными горелками, расположенными в 2 яруса по 4 горелки в каждом на фронтальной стене котла и системой нижнего дутья.

Система нижнего дутья представляет собой воздушные сопла, расположенные на скатах холодной воронки. Через воздушные сопла нижнего дутья подается 15–20 % воздуха от теоретически необходимого. Нижнее дутье необходимо для снижения температуры газов на выходе из топки и защиты экранов топки от шлакования. Кроме того, система нижнего дутья обеспечивает снижение оксидов азота на 20-25 %.

Расчетный анализ минеральной части уруйского угля показал склонность минеральной части к шлакованию топки и активному загрязнению пароперегревателя.

Исходя из необходимости сохранения номинальной производительности и защиты поверхностей нагрева от шлакования, а окружающей среды -от вредных выбросов NO_x , на котле внедрены дополнительные мероприятия:

- увеличение глубины топочной камеры за счет смещения задней стены топки на 1002 мм;

- ввод в зону активного горения рециркуляционных дымовых газов.

Дымовые газы в необходимом количестве поступают в топку в качестве составной части сушильно-транспортного агента из пылесистемы котла.

По результатам анализа допустимые значения величин теплонапряжений и температур при сжигании уруйского угля по условиям шлакования топки и загрязнения пароперегревателя составляют:

$q_f = 3,0$ МВт/ м² - теплонапряжение сечения топки;

$q_{лг} = 0,79$ МВт/ м²- теплонапряжение лучистой поверхности ЗАГ (зоны активного горения);

$\vartheta''_T = 1070$ °С - температура на выходе из топки;

$\vartheta''_{заг} = 1400$ °С - температура на выходе из ЗАГ.

Нормативное значение концентрации NOx за котлом - 320 мг/нм³.

Без увеличения сечения топки расчетное значение q_f превысит допустимое значение и составит 3,4 МВт/ м². Без ввода в ЗАГ дымовых газов: $\vartheta''_{заг} = 1475$ °С; концентрация NOx = 470 мг/нм³.

Расчетные значения величин теплонапряжений, температур, концентраций NOx для предлагаемого топочно-горелочного устройства (с нижним дутьем, вводом дымовых газов в ЗАГ, увеличенной топкой) составляют:

$q_f = 2,9$ МВт/ м² - теплонапряжение сечения топки;

$q_{лг} = 0,67$ МВт/ м² - теплонапряжение лучистой поверхности ЗАГ (зоны активного горения);

$\vartheta''_T = 1080$ °С - температура на выходе из топки;

$\vartheta''_{заг} = 1370$ °С - температура на выходе из ЗАГ.

$C_{NOx} = 320$ мг/нм³ - концентрация NOx.

На случай аварийного останова дымососа рециркуляции предусмотрена сушка топлива смесью горячего и слабopодогретого воздуха.

При этом нагрузка котла должна быть снижена до 0,7 $D_{ном}$, так как длительная работа на номинальной нагрузке в таком режиме приведет к шлакованию поверхностей нагрева котла.

При переходе на сжигание уртуйского бурого угля по требованию заказчика принята система пылеприготовления с прямым вдуванием. Поскольку три мельницы обеспечивают требуемую нагрузку котла 320 т/ч, четвертая мельница определена резервной.

В связи с необходимостью обеспечения бесшлаковочной работы пароперегревателя (температура газов перед конвективными поверхностями нагрева не более 970°С) и достижения при этом номинальной температуры перегрева в регулировочном диапазоне нагрузок котла, необходимо увеличить поверхность нагрева ширмового пароперегревателя.

Проектом предусмотрена установка 24-х новых ширм с шагом $S_1 = 480$ мм, взамен существующих 18-ти ширм с шагом $S_1 = 650$ мм.

Увеличение глубины топки за счет сдвижки заднего экрана в сторону конвективной шахты приводит к необходимости изменения конструкции конвективного пароперегревателя 3 и 4 ступени.

В целях уменьшения глубины конвективных пакетов, при обеспечении их необходимой поверхности нагрева, они выполнены в виде двухпетельных пятиниточных пакетов с уменьшенным поперечным шагом ($S_1 = 160$ мм).

Первая ступень конвективного пароперегревателя сохраняется без изменений.

Экономайзер 2 ступени уменьшается на две петли ($H = 1800$ м²) для увеличения температуры горячего воздуха, используемого для сушки топлива.

Экономайзер 1 ступени и воздухоподогреватель остаются без изменений.

Реконструкция каркаса заключается в переносе каркаса задней стены топки и установке дополнительной балки и подкосов к ней (для сохранения нагрузки на фундамент).

Основные технические решения:

- увеличение глубины топки;
- фронтное расположение прямооточных горелок с системой нижнего дутья;
- ввод в состав сушильного агента газов рециркуляции;
- замена дутьевых вентиляторов и дымососа газов рециркуляции;
- замена ширм, 3-ей и 4-ой ступеней пароперегревателя.

Принятые технические решения обеспечивают:

- надежную работу котла с твердым шлакоудалением на номинальной нагрузке при сжигании уртуйского бурого угля по схеме прямого вдувания с сохранением существующих мельниц.
- сохранение номинальных параметров пара в диапазоне 60-100% номинальной производительности.
- высокие экономические (КПД котла ~ 90,9 %) и экологические (NOx - 320 мг/нм³) показатели.

Данный проект не реализован в металле из-за финансовых трудностей заказчика.

Кроме того, ОАО «Сибэнергомаш» выполнены проекты перевода на твердое шлакоудаление котла БКЗ 640-140ПТ-1, Гусиноозерской ГРЭС, котла БКЗ 210-140ФЖШ, ст.№11 Казанской ТЭЦ-2 и ряда других.

Разработан ряд технико-коммерческих предложений по переводу котлов на твердое шлакоудаление (БКЗ 420-140ПТ-2 - Барнаулская ТЭЦ-3, БКЗ 420-140ПТ-2 - Усть-Илимская ТЭЦ, и другие). К сожалению, из-за финансовых трудностей не все предложения еще реализованы.

В целом работа котлов, переведенных ОАО «Сибэнергомаш» на твердое шлакоудаление, подтвердила правильность принятых

КОНСТРУКТОРСКИЕ РЕШЕНИЯ ОАО «СИБЭНЕРГОМАШ» ПО ПЕРЕВОДУ КОТЛОВ, РАБОТАЮЩИХ НА КАНСКО-АЧИНСКИХ УГЛЯХ, С ЖИДКОГО ШЛАКОУДАЛЕНИЯ НА ТВЕРДОЕ ШЛАКОУДАЛЕНИЕ

технических решений. В результате проведенных реконструкций улучшены экономические и экологические характеристики котлов. Повышена надежность их работы. Увеличен диапазон бесшлаковочной работы.

Накопленный ОАО «Сибэнергомаш» опыт по переводу котлов с жидкого шлакоудаления на твердое шлакоудаление, позволяет решать самые сложные задачи на высоком техническом уровне.