

УДК 629.782.519.711

ОПЫТ МОДЕРНИЗАЦИИ УСТАРЕВШЕГО КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЕДИНИЧНОЙ МОЩНОСТИ И УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

© 2011 Р.Ш. Загруддинов¹, А.Н. Нагорнов¹, Н.А. Нагорнов², С.Н. Шитова²

¹ ЗАО «Концерн «ЕвразЭнергоПром», г. Екатеринбург

² ЗАО «СУЗМК ЭНЕРГО», г. Среднеуральск

Поступила в редакцию 17.03.2011

Представлена концепция модернизации морально устарелого и физически изношенного оборудования с увеличением паропроизводительности котлов за счёт реализации на них современных технологических решений при сохранении существующих габаритных размеров ячеек самого котла и его вспомогательного оборудования. Модернизация предусматривает улучшение технико-экономических показателей и экологических характеристик работы котлов за счёт реализации на котлах современных технологических решений и оборудования высокоэффективными золоуловителями с коэффициентом золоулавливания не менее 99,4-99,5%, устанавливаемыми в существующих ячейках. За счёт того, что модернизация нескольких котлов ТЭС обходится дешевле капиталоёмкого строительства нового котла, предлагаемые решения приводят к снижению удельных инвестиционных затрат для получения дополнительного тепла (пара).

В качестве примера приведены результаты реализации представленных решений при модернизации двух типов котлоагрегатов БКЗ-320-140 и БКЗ-420-140 работающих на экибастузском угле. В результате реконструкции двух котлов БКЗ-320-140 с повышением их паропроизводительности до 400 т/ч и шести котлов БКЗ-420-140 с повышением их паропроизводительности до 460 т/ч, ТЭЦ увеличила суммарную производительность на 400 т/ч.

Ключевые слова: модернизаций, котел, золоулавливатель, снижение затрат, экология

Энергетика в сложившихся рыночных отношениях при высоком уровне инфляции и невозможности использования централизованных средств для замены отработавших свой ресурс энергетического оборудования оказалась в сложном положении. До сих пор на многих электростанциях находятся в эксплуатации котлоагрегаты не только 50-60-х годов прошлого века, но и даже 40-х. Кроме того, даже котлы, изготовленные 30-40 лет назад, устарели не только физически, но и морально и не удовлетворяют современным экологическим и экономическим требованиям. Из-за низких темпов развития энергетики России отечественный рынок характеризуется малым спросом на новое оборудование, но при этом увеличивается спрос на предложения по реконструкции существующего.

Загруддинов Равиль Шайхутдинович, кандидат технических наук, директор департамента инновационных технологий. E-mail: ravzag@yandex.ru

Нагорнов Алексей Николаевич, кандидат технических наук, председатель Совета директоров. E-mail: suzmk@mail.ru

Нагорнов Николай Александрович, технический директор. E-mail: mail@suzmk.ru

Шитова Светлана Николаевна, начальник технического отдела

В соответствии с современными нуждами теплоэнергетики предприятиями ЗАО «Концерн «ЕвразЭнергоПром», в число которых входит базовое предприятие ЗАО «СУЗМК ЭНЕРГО», в своей научно-конструкторской и производственной деятельности было выделено в качестве одного из приоритетных направление по разработке технических решений по реконструкции и модернизации устаревшего котельного оборудования, конечной целью которых являлись:

- модернизация морально устарелого и одновременно замена физически изношенного оборудования;
- увеличение паропроизводительности котлов за счёт реализации на них современных технологических решений при сохранении существующих габаритных размеров ячеек самого котла и его вспомогательного оборудования;
- улучшение технико-экономических показателей работы котлов за счёт внедрения более эффективных по своим теплообменным характеристикам материалов;
- улучшение экологических характеристик работы котлов за счёт реализации на котлах

современных технологических внутритопочных средств подавления оксидов азота и оборудование котлоагрегатов высокоэффективными золоуловителями с коэффициентом золоулавливания не менее 99,4-99,5%, устанавливаемыми в существующих ячейках и с максимальным использованием оборудования существующих золоуловителей;

- снижение инвестиционных затрат для получения дополнительного тепла (пара) – модернизация нескольких котлов ТЭС обходится дешевле капиталоемкого строительства новой очереди на существующей станции или строительства новой ТЭС;
- снижение удельных затрат на тонну выработанного пара.

Для решения этих задач совместно с конструкторами Барнаульского СКБ КУ была разработана основная концепция реконструкции устаревших пылеугольных котлов, которая включала в себя следующее:

1. Реализация на котлах системы нижнего дутья. В середине 70-х годов в связи с использованием в топливном балансе СССР шлакующих высоко абразивных и низкосортных углей специалисты НПО ЦКТИ приступили к созданию технологии сжигания пыли угрубленного помола для традиционных камерных топочных устройств с твердым шлакоудалением. На базе стендовых исследований была разработана и в 1985 г. внедрена новая технология сжигания для топочного устройства котла ПК-39 энергоблока 300 МВт Троицкой ГРЭС, работающего на высокозольном экибастузском угле [1, 2]. Отличительной особенностью указанной технологии сжигания (см. рис. 1) явились использование части воздуха, поступающего на горение, в качестве нижнего дутья и его подача через крупные сопла на скаты холодной воронки с долей $\alpha_{нд} \approx 0,2-0,3$. Указанное техническое решение по организации нижнего дутья в виде отдельных крупных воздушных струй было реализовано в отечественной энергетике впервые. Подача воздуха в нижнюю часть топки способствовала двукратному снижению провала, исключению очагов газовой коррозии и ликвидации шлакования экранных труб, а также уменьшению приблизительно на 30% выбросов оксидов азота.

Положительный опыт работы системы нижнего дутья (СНД) на котле ПК-39 послужил основанием для ее внедрения на котлах малой, средней и большой мощности при сжигании различных марок углей. Применительно к котлам большой мощности, выпускаемых ЗиО, указанная СНД была успешно использована на энергоблоках: 300 МВт Новоангренской

ГРЭС (Узбекистан), 500 МВт ТЭС «Имьнь» (КНР), 200 МВт ТЭС. «Битола» (Македония) и др. Наибольшее количество котлов с СНД, работающих на твердых топливах различных марок (от югославских лигнитов до каменных углей Нерюнгринского и Экибастузского месторождений), было внедрено ПО «Сибэнергомашем» [3, 4].

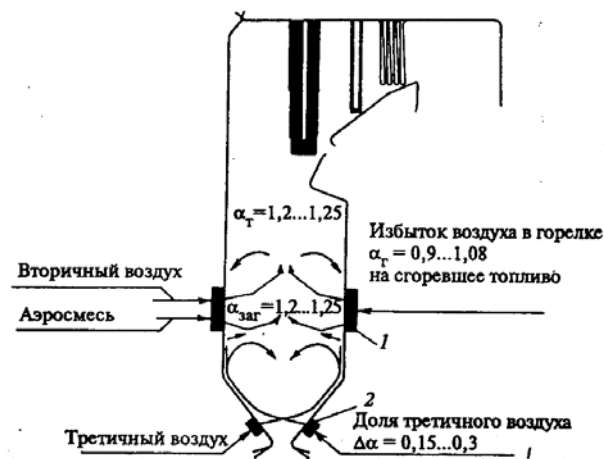


Рис. 1. Схема топочно-горелочного устройства с нижним дутьем: 1 – горелки, 2 – сопла нижнего дутья

ЗАО «СУЗМК ЭНЕРГО» за период с 2000 по 2008 г. выполнило реконструкцию котлов БКЗ-220 и БКЗ-160 ТЭЦ АО «ССГПО», котлов БКЗ-320 и БКЗ-420 ТЭЦ АО «Алюминий Казахстана». Все реконструкции были выполнены с увеличением их паропроизводительности на 22-25% и с реализацией на них СНД. Опыт реализации СНД в пылеугольных котлах позволяет сделать следующие выводы:

- Подача части воздуха в холодную воронку растягивает зону горения вниз и увеличивает тепловую эффективность экранов нижней части топочной камеры за счёт увеличения теплосприятия скатов холодной воронки. Это обстоятельство при сохранении номинальной нагрузки приводит к снижению температуры дымовых газов на выходе из топки.
- СНД приводит к уменьшению потерь тепла с механической теплотой сгорания за счёт уменьшения провала угольных частиц в холодную воронку.
- СНД растягивая зону горения снижает уровень температур факела в зоне активного горения предотвращая, либо снижая темп шлакования поверхностей нагрева топки и пароперегревателя.
- Подача части воздуха помимо горелочных устройств в СНД является одной из форм организации ступенчатого сжигания. При этом на процесс снижения образования монооксида азота в факеле одновременно воздействуют

несколько факторов, такие как уменьшения избытка воздуха в начальной стадии формирования факела и общего уровня температур в зоне активного горения. По данным наладки снижение NO_x при реализации на котле СНД при прочих равных условиях составляет 20-30%.

• Реализация СНД является не только природоохранным мероприятием при повышении паропроизводительности котла, но и необходимым условием при достаточно крупном повышении мощности котла до 20-30%, т.к. позволяет повысить тепловую эффективность топочной камеры.

2. Реконструкция горелочных устройств. При разработке проекта модернизации котлоагрегата особо учитывается существующая на нём схема пылеприготовления. При наличии на котле схемы с прямым вдуванием в комплексе с оборудованием котла системой нижнего дутья часто предусматривается установка вихревых двухпоточных горелок (низкотоксичных – с пониженным выходом оксидов азота). На котлах с промбункером и с реализованной системой транспорта пыли высокой концентрацией под давлением (ТПВКд) более предпочтительной была признана схема размещения прямооточных горелок на углах топки (или полутопок на более мощных котлах) с организацией сжигания пыли в вихре (или в двух вихрях) с центром в середине топки (полутопок). При этой схеме достигается замедленное смешение пыли с дутьевым воздухом в начальной части факелов. Сброс сушильного агента осуществляется в сечение топки выше основных горелок (примерно на 2,5 м).

3. Реконструкция системы подачи пыли в горелки с переводом на ТПВКд. Реализация этого мероприятия возможна на пылеугольных котлах оборудованных пылесистемами с промбункером. Традиционная схема пылеприготовления котлов, предусматривающая использование пылепроводов большого диаметра с большой скоростью движения пылевоздушной массы в них, требует значительных затрат на ремонт и замену изношенных участков пылепроводов. С целью ликвидации этого недостатка традиционной схемы на электростанциях с котлами, оснащенными системами пылеприготовления с промбункерами, широко внедряются схемы транспорта пыли к горелкам при высокой ее концентрации (ПВК). В схеме ПВК пыль транспортируется не первичным воздухом, а автономным агентом, причем концентрация пыли в нем составляет 30-50 кг/кг. Это позволяет снизить долю транспортирующего воздуха до 0,1-0,3% его

общего расхода на горелки, использовать пылепроводы малого диаметра – 60-80 мм, сократить протяженность тракта первичного воздуха и приблизить его сопротивление к сопротивлению тракта вторичного воздуха, в широких пределах изменять долю первичного воздуха и устанавливать ее исключительно в зависимости от условий горения. Кроме того, переход на сжигание ПВК (при соответствующей реконструкции горелочных устройств) существенно изменяет режим работы и условия эксплуатации котла. Сжигание ПВК является предельным режимом работы горелок с уменьшенным расходом первичного воздуха, количественно не превышающим в данном случае 0,5-1,0% теоретически необходимого для выгорания смеси. Замедленное смесеобразование и высокая интенсивность прогрева топливных частиц (за счет уменьшения расхода тепла на подогрев транспортирующего воздуха) приводит к тому, что азотосодержащие летучие соединения топлива выделяются в зоне с недостатком кислорода и образуют молекулярный азот.

Эффективность сжигания ПВК как метода подавления окислов азота зависит от способа организации факела. Анализ известных к настоящему времени экспериментальных данных показывает, что во всех случаях сжигание высококонцентрированной аэроsmеси в вихревых горелках связано с уменьшенным выходом оксидов азота (для схем под давлением и под разрежением). Снижение концентрации оксидов азота в дымовых газах при переходе на сжигание пыли высокой концентрации отмечается для различных котлов и различных видов топлива в пределах от 20 до 40%. Наибольший эффект достигается в тех случаях, когда переход на сжигание ПВК сопровождается снижением величины оптимального избытка воздуха. При этом применение систем ТПВК на котлах различных типов сопровождается повышением устойчивости топочного процесса, что особенно важно при переходе на сжигание высококонцентрированной аэроsmеси в условиях нестабильности качества топлива.

4. Использование высокоэффективных материалов при изготовлении поверхностей нагрева расположенных в конвективной шахте.

4.1. Для обеспечения большего теплосъёма ступенями водяного экономайзера при сохранении их габаритных размеров ЗАО «СУЗМК ЭНЕРГО» оборудует котлы пакетами, выполненными из труб с ленточным оребрением. Особенно это касается реконструкции котлов с повышением их паропроизводительности на

20-30%, в которых объем дымовых газов увеличивается на эту же величину. При этом при реконструкции котлов, работающих на многозольных топливах средней влажности, таких как экибастузский уголь, и невозможности увеличения габаритов трубчатых воздухоподогревателей (ТВП) для повышения КПД котла основной теплосъем производится ступенями водяного экономайзера.

4.2. Иногда с целью снижения абразивного износа металла ТВП золой для понижения повышенных скоростей дымовых газов пакеты ТВП выполняются из труб $\varnothing 50 \times 1,5$. В этом случае исполнение пакетов водяного экономайзера становится обязательным из труб с ленточным оребрением. Следует отметить, что объем реконструктивных работ зависит от конкретных целей, которые должны быть достигнуты в процессе модернизации котельного оборудования. Большая их часть была перечислена выше. Однако цели, поставленные заказчиком, могут быть локальными, например, восстановить котлоагрегат с прежними параметрами с заменой физически изношенного оборудования и улучшением их экологических и технико-экономических характеристик. Более объемной работой является модернизация котлоагрегата с увеличением его паропроизводительности, которая может повлечь за собой, что часто и происходит, реконструкцию практически всех его вспомогательных узлов (систем топливоприготовления и транспортировки пыли к горелочным устройствам, пылегазозовоухопроводов, тягодутьевых машин, золоуловителей и пр.). В этом случае мы имеем дело с комплексом различных мероприятий тесно увязанных между собой.

В качестве примера хотелось бы представить описанные выше концепции, реализованные ЗАО «СУЗМК ЭНЕРГО» при модернизации двух типов котлоагрегатов БКЗ-320-140 и БКЗ-420-140 работающих на экибастузском угле. В результате реконструкции 2 котлов БКЗ-320-140 с повышением их паропроизводительности до 400 т/ч и 6 котлов БКЗ-420-140 с повышением их паропроизводительности до 460 т/ч, ТЭЦ АО «Алюминий Казахстана» (г. Павлодар) увеличила свою суммарную производительность на 400 т/ч. При этом следует заметить, что все эти работы были выполнены «под ключ», начиная с проектирования и заканчивая пуско-наладочными работами в течение 5 лет с 2004 по 2009 г.г.

На каждом котле БКЗ-320-140-1 (рис. 2, 3) ТЭЦ АО «Алюминий Казахстана» были выполнены следующие основные работы:

- На топочно-горелочных устройствах котлов:

- смонтирована система нижнего дутья;
- системы подачи пыли в горелки были переведены на транспорт ПВКд;
- замена вихревых горелок на прямоточные, с целью достижения замедленного смешения в начальной части факелов, с размещением их на углах полутопок для организации сжигания пыли в двух вихрях с центрами в середине полутопок;
- сопла сброса сушильного агента установлены с образованием тангенциальной вихревой подачи выше основных горелок на 2,1 м.

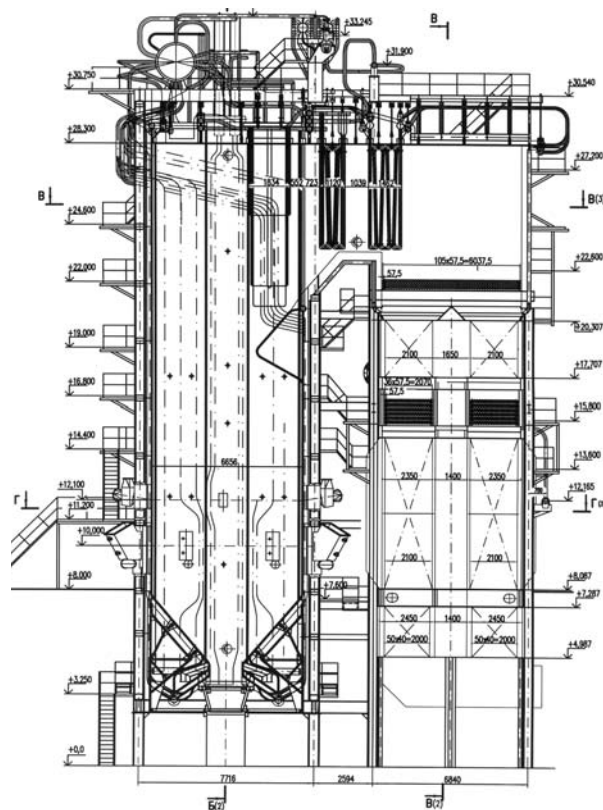


Рис. 2. Продольный разрез котла БКЗ-400-140 после реконструкции

- Осуществлена замена барабана котла вырабатывавшего свой ресурс.
- Выполнена замена конвективных поверхностей нагрева пароводяного тракта и реконструкция воздухоподогревателя.
- Для обеспечения большего теплосъема ступенями водяного экономайзера при сохранении их габаритных размеров пакеты выполнены из труб с поперечным ленточным оребрением.
- Выполнена реконструкция пылесистем с целью увеличения производительности пылесистем на 20% (реконструкция сепараторов и увеличение диаметра выходной обечайки ШБМ).

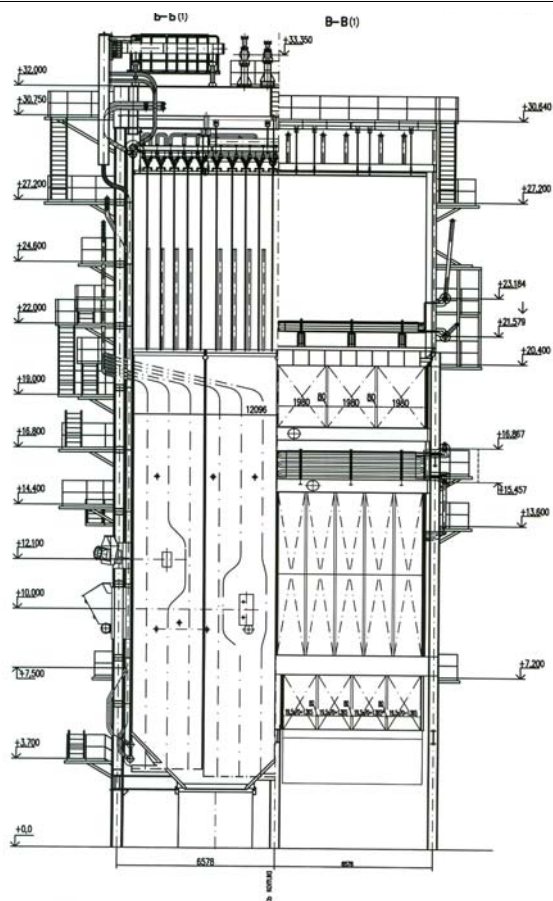


Рис. 3. Поперечный разрез котла БКЗ-400-140 после реконструкции

- Реконструированы газоздухопроводы и заменены тягодутьевые машины на аппараты большего типоразмера.
- На котле ст. № 2 проведена реконструкция мокрого золоуловителя (МЗУ) с переводом его в режим интенсивного орошения (ИРО), а на котле ст. № 1 были демонтированы трубы Вентури и в существующих скрубберах установили батарейные эмульгаторы II-го поколения.

В результате реконструкции:

- После пуска и наладки котлоагрегаты уверенно набирали расчётную паровую нагрузку равную 400 т/ч. Котлы длительно работают в расчётном режиме при отсутствии шлакования поверхностей нагрева.
- Новые топочно-горелочные устройства – двухвихревое тангенциальное расположение прямоточных горелок с системой нижнего дутья позволило значительно уменьшить выбросы оксидов азота из котла. Концентрация NO_x в дымовых газах (приведенная к избытку воздуха $\alpha=1,4$) при работе котла на расчётной нагрузке 400 т/ч составила 500-510 мг/м³, в то время как до реконструкции, этот параметр при работе котла на нагрузке 320 т/ч был равен 920-930 мг/м³.

- Перевод МЗУ в режим интенсивного орошения (МВ-ИРО) на котле ст.№ 2 в диапазоне средних паровых нагрузок котла 300-400 т/ч привёл эксплуатационную степень очистки дымовых газов от золы к величине 99,50-99,60%, а массовую концентрацию золы на выходе установки – 0,167 г/м³ при:

- массовой концентрация золы на входе в установку – 57-65 г/м³;
- удельном расходе орошающей воды на трубы Вентури – 0,459 кг/м³.

- Реконструкция сепараторов диаметром 4000 мм пылесистемы с промбункером и мельницей ШК-32 размалывающий экибастузский уголь, выполненная по проекту Ур.ОРГРЭСа привела к повышению эксплуатационных технико-экономических показателей работы – при работе одной мельницы котёл обеспечивается пылью до нагрузки 300-320 т/ч, что соответствует производительности мельниц 51-53 т/ч.

- Реконструкция аппаратов мокрой золоочистки на котле ст. № 1 и установка в них батарейных эмульгаторов II-го поколения позволила поднять эксплуатационную степень очистки дымовых газов от золы в среднем до 99,40-99,47% и снизить массовую концентрацию золы на выходе установки до 0,266 г/м³ при:

- массовой концентрация золы на входе в установку – 57÷67 г/м³;
- удельном расходе орошающей воды на трубы Вентури – 0,2 кг/м³.

Реконструкция всех котлов с прямым вдуванием БКЗ-420-140 ТЭЦ АО «Алюминий Казахстана». Целью реконструкции котлов с прямым вдуванием БКЗ-420-140 являлись повышение их паропроизводительности до 460 т/ч, унификация топочно-горелочных устройств котлов БКЗ-420-140 разных серий, выпущенных в разные годы, и улучшение их экологических характеристик. Реконструкции топочно-горелочных устройств были выполнены по уже апробированной технологии сжигания со схемой нижнего дутья, описанной выше. Были установлены вихревые двухпоточные горелки (низкотоксичные – с пониженным выходом оксидов азота) на боковых стенах топки по 4 на каждой стене. Воздушные сопла нижнего дутья были устанавливаемы встречно в расщепку на боковых стенах холодной воронки. Были выполнены реконструкции поверхностей нагрева пароперегревателя и поверхностей нагрева, расположенных в конвективной шахте (водяного экономайзера и воздухоподогревателя). При этом для увеличения поверхности нагрева водяного экономайзера его пакеты были изготовлены из труб с ленточным оребрением. Соответственно, модернизация котлов БКЗ-420-140 сопровождалась:

- реконструкцией и перекомпоновкой пыле-, газо- и воздухопроводов;
- реконструкцией тягодутьевых машин на отдельных котлах;
- частичной реконструкцией элементов пароводяного тракта;
- демонтажом труб Вентури на МЗУ и установкой в них батарейных эмульгаторов II поколения.

Выводы: несмотря на повышение паропроизводительности каждого котла на 10%, предусмотренные природоохранные мероприятия (установка двухпоточных низкотемпературных горелок и реализация схемы нижнего дутья) уменьшило выбросы оксидов азота примерно на 25-30% по сравнению с существующим положением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. А.с. 540108 РФ. Топка / Б.Д. Канцельсон, А.А. Шатиль, А.И. Тарасов и др. // Изобретения. 1976. N 247.
2. Гусев, Л.Н. Организация ступенчатого сжигания в пылеугольной топке котла, оборудованного пылесистемой с промбункером / Л.Н. Гусев, Е.К. Чавчанидзе // Тр. ЦКТИ. 1991. Вып. 266.
3. Илясов, В.А. Опыт внедрения ступенчатого сжигания с системой нижнего дутья НПО ЦКТИ на пылеугольных котлах ОАО «Сибэнергомаш» / В.А. Илясов, В.Г. Петухов, А.И. Медведев, О.А. Бирюкова // Новые технологии сжигания твердого топлива: их текущее состояние и использование в будущем: Сб. докладов. М.: Изд-во ВТИ, 2001.
4. Гильде, Е.Э. Повышение эффективности работы котлов в результате применения системы нижнего дутья конструкции НПО ЦКТИ / Е.Э. Гильде, Н.С. Клепиков, Л.Н. Гусев и др. / Теплоэнергетика. 2003. № 2. С. 55-57.

EXPERIENCE OF MODERNIZATION THE OUT-OF-DATE BOILER EQUIPMENT FOR THE PURPOSE OF INCREASE THEIR INDIVIDUAL CAPACITY AND IMPROVEMENT TECHNICAL-ECONOMIC AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS

© 2011 R.Sh. Zagrutdinov¹, A.N. Nagornov¹, N.A. Nagornov², S.N. Shitova²

¹ JSC "Concerns" EvrazEnergoProm", Ekaterinburg

² OSC "SUZMK ENERGO", Sredneuralsk

The concept of modernization the morally out-of-date and physically worn out equipment with increase boilers steam productivity at the expense of realization on them modern technological decisions with preservation of existing overall dimensions of boiler cells and its auxiliaries is presented. Modernization provides improvement of technical and economic indicators and ecological characteristics of boiler work at the expense of realization on boilers modern technological decisions and equipment by highly effective ash collectors with ash collection factor not less than 99,4-99,5%, established in existing cells. Because modernization of several boilers HPS manages more cheaply capital-intensive building of the new boiler, offered decisions lead to decrease in specific investment expenses for reception of additional heat (steam).

As an example results of realization the presented decisions are resulted at modernization of two types boiler units BKZ-320-140 and BKZ-420-140 working on Ekibastuz coal. As a result of reconstruction of two boilers BKZ-320-140 with increase of their steam productivity to 400 t/h and six boilers BKZ-420-140 with increase of their steam productivity to 460 t/h, the thermal power station has increased total productivity on 400 t/h.

Key words: *modernizations, boiler, ash collector, decrease in expenses, ecology*

Ravil Zagrutdinov, Candidate of Technical Sciences,
Director of Innovative Technologies Department. E-mail:
ravzag@yandex.ru

Aleksey Nagornov, Candidate of Technical Sciences,
Chairman of Directors Board. E-mail: suzmk@mail.ru
Nikolay Nagornov, Technical Director. E-mail: mail@suzmk.ru
Svetlana Shitova, Chief of the Technical Department