

Аналогичная картина наблюдается на всех крупных озерах. Несколько другая структура изменения наступления дат перехода характерных температур воды наблюдается на Полесских озерах, в частности на озере Червоное (рис. 3).

Заключение. Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик временных рядов температуры воды озер Беларуси за период инструментальных наблюдений позволяет сделать вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике температуры воды рассматриваемых озер Беларуси, обусловленных как естественно-климатическими, так и антропогенными изменениями гидрологического цикла. Стационарность процесса многолетних температур воды озер имеет место для отдельных озер. При анализе закономерностей многолетних колебаний температуры воды озер использование методов теории случайных процессов должно сочетаться с анализом генезиса рассматриваемого процесса и определяющих его природно-хозяйственных факторов, прежде всего климатических.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Якушко, О.Ф. Белорусское Поозерье / О.Ф. Якушко. – Минск: Выш. шк., 1971. – 335 с.
2. Якушко, О.Ф. Озероведение. География озёр Белоруссии / О.Ф. Якушко. – Минск: Выш. шк., 1981. – 224 с.
3. Якушко, О.Ф. Озёра Белоруссии / О.Ф. Якушко. – Минск: Урожай, 1988. – 216 с.
4. Методические указания по ведению государственного водного кадастра – Раздел 1. Вып. 3. Сер. 2. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 106 с.
5. Фащевский, Б.В. Основы экологической гидрологии / Б.В. Фащевский. – Минск: Выш. шк., 1996. – 240 с.
6. Логинов, В.Ф. Изменение испарения с водной поверхности на территории Белоруссии / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек // География и природные ресурсы. – 2005. – № 2. – С. 137–144.
7. Логинов, В.Ф. Изменение ветрового режима на территории Беларуси в XX в. / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, Г.В. Волобуева // Природные ресурсы. – 2005. – № 4. С. 5–12.

Материал поступил в редакцию 13.04.09

VOLCHEK A.A., KIRVIEL P.I., MELNIK V.I. Time-space temperature variations of water for Belarusian lakes in conditions of changed climate

The generalized results of studies of temperature variations of water for Belarusian lakes are explained. It is drawn a conclusion about availability statistically of significant variations in dynamics of temperature of water for Belarusian lakes for separate periods of measuring conditioned by natural-climatic and anthropogenous variations of the hydrological cycle.

УДК 621.181

Карницкий Н.Б., Чиж В.А., Нерезько А.В.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЛОВ ТЭС ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

Введение. Образующиеся на поверхности теплообмена теплоэнергетического оборудования в процессе его эксплуатации малорастворимые химические соединения и продукты коррозии конструкционных материалов с коэффициентом теплопроводности меньше коэффициентов теплопроводности металла труб снижают надежность и экономичность работы оборудования. При невозможности предотвращения образования этих отложений единственным способом поддержания теплообменного оборудования в работоспособном состоянии на достаточно высоком уровне его экономичности является своевременное их удаление образовавшихся отложений. Для этого необходим останов теплообменного оборудования в тот момент времени, пока негативные последствия наличия отложений только начинают сказываться на его работе, т.к. со временем эти процессы резко интенсифицируются и могут привести к возникновению аварийных ситуаций. Так, известно, что основной причиной аварийных остановов паровых котлов на ТЭС является повреждаемость поверхностей нагрева, на долю которых приходится до 70 % общего числа технологических нарушений.

О пределе загрязнения поверхностей нагрева. Высокая точность прогнозирования состояния оборудования, проведение своевременного осмотра и предупреждения нарушений в его работе могут быть реализованы только при регулярном, предельно грамотном контроле за его сохранностью, обеспечении оптимального режима работы, тщательном анализе эксплуатации и ремонта, знании характера и особенностей процессов, которые происходят при работе каждого узла или отдельного участка теплообменного оборудования.

Задача технической диагностики процессов образования отложений на теплопередающей поверхности котла состоит в том, что определив динамику роста отложений, необходимо зафиксировать именно тот момент времени, после которого котел должен быть отключен для очистки в максимально короткий срок.

Действующими «Правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов», а также инструкциями заво-

дов-изготовителей установлены следующие значения предельного количества отложений на поверхностях нагрева котлов, которые приведены в таблице 1.

В то же время в ряде публикаций приведено важное положение о том, что при нормировании удельной загрузенности топочных экранов, требующей проведения химической промывки, следует учитывать интенсификацию коррозии металла труб под отложениями при уровне загрязнений, еще не приводящем к тепловому разрыву. По этой причине считается, что при количестве отложений более 400 г/м² (при указанной ранее норме в 600 г/м²) газомазутный котел не должен пускаться без предварительного проведения химической очистки.

В настоящее время контроль за состоянием основного теплосилового оборудования на ТЭС осуществляется путем осмотра проточной части турбин, экранных труб, коллекторов и барабанов паровых котлов во время профилактических мероприятий и капитальных ремонтов. В этот период проводятся необходимые вырезки экранных труб для оценки коррозионного состояния металла и характера солевых загрязнений, определяются физические и химические показатели этих загрязнений, проводятся химические очистки при отклонении показателей от нормируемых. В то же время наиболее эффективным и представительным контролем состояния внутренней поверхности труб котлов, температуры металла является организация стационарной системы технического диагностирования топки котла.

Температурный контроль металла. Варианты обеспечения температурного контроля могут быть различны: тепловизионный контроль горения, контроль горения с помощью оптических пирометров, отсосных термомпар, переносных торцевых и поворотных сдвоенных термозондов, радиометров и т.д.

Однако на практике наиболее широкое применение получили радиометрические и температурные вставки. При организации такого контроля необходимо правильно определить место установки датчиков температуры в топке, т.е. зону максимальных тепловых нагрузок.

Карницкий Н.Б., д.т.н., профессор, Чиж В.А., к.т.н., доц., Нерезько А.В., Белорусский национальный технический университет, г. Минск.

Таблица 1. Предельное количество отложений на поверхностях нагрева

Тип оборудования	Предельная удельная загрязненность по виду топлива				Дополнительные показатели
	Жидкое и газообразное	Твердое и жидкое	Уголь	Торф, щепа и прочее	
Барабанные котлы давлением: до 4 МПа	800	800	1000	1000	Толщина отложений не превышает 0,7 мм
от 4 до 10 МПа	600	600	800	1000	Толщина отложений не превышает 0,3 – 0,4 мм
от 10 до 15,5 МПа	400	400	600	800	Толщина отложений не превышает 0,2 – 0,3 мм
Прямоточные котлы: докритического давления	300	300	400	----	Предельная температура стенки труб при ГАВР - 550 °С, при НКВР - 540 °С
	сверхкритического давления	200	200	300	
Водогрейные котлы	1000	1000	1000	1000	Гидравлическое сопротивление не более чем в 1,5 раза гидравлического сопротивления чистого котла
Конденсаторы турбин	При повышении давления отработавшего пара по сравнению с нормативными значениями на 0,005 кг / см ² (0,5 кПа)				
Подогреватели сетевой воды	При повышении температурного напора (недогрева) и гидравлического сопротивления в 2 раза более нормативных значений				

В последнее время в научно-технических журналах описываются многочисленные попытки по созданию методики диагностирования состояния внутренних поверхностей нагрева энергетических котлов, с целью прогнозирования периодичности эксплуатационных химических промывок [1–7]. Однако оптимального метода так и не предложено, что объясняется исключительной сложностью и многообразием физико-химических и тепловых процессов, протекающих в энергетических котлах различных типов. Это многообразие определяется следующими факторами:

- тепловыми режимами в топках (вид топлива, способ сжигания, компоновочные решения и т.п.);
- водно-химический режим котлов барабанного типа;
- режимами работы ТЭС;
- по качествам и количествам примесей в теплоносителе и т.д.

Основой практически каждой такой методики является организация температурного контроля наиболее теплонапряженной части котла, позволяющая контролировать тепловой режим топки при различных нагрузках, следить за динамикой роста отложений и т.д.

Зависимость допускаемого напряжения котельных сталей с повышением температуры [8] показана на рис. 1.

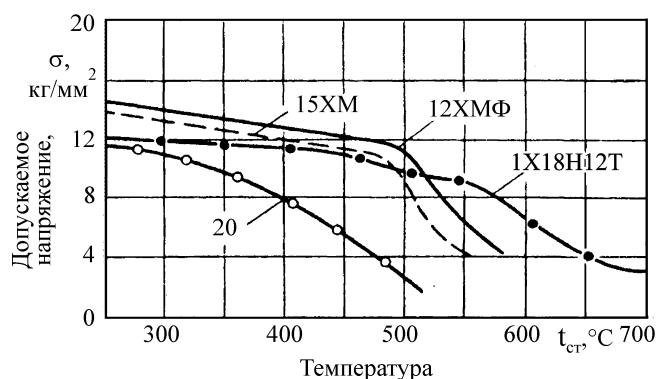


Рис. 1. Допускаемые напряжения для различных марок котельной стали

Видно, что применяемые в энергетике перлитные, ферритные и аустенитные стали при температуре до 500 °С обладают относительно высоким сопротивлением к развитию трещин вследствие термической усталости. Особенно это характерно для аустенитных сталей обладающих высокой пластичностью. Уже при температуре 550 °С отмечается интенсивный рост трещин в перлитных сталях, в аустенитных сталях этот эффект наблюдается при температурах 600...700 °С.

Температура наружной поверхности экранной трубы котла с давлением в барабане 155–160 кгс/см² для стали 20 может приближаться к предельной. Особенно близки к достижению допускаемой температуры (примерно 460 °С) котлы, работающие на мазутном топливе, и газомазутные котлы, в которых при совместном сжигании мазута и газа доля мазута составляет более 30–50%. Это связано с особыми свойствами мазутного факела, концентрирующего в зоне горелок тепловой поток значительно большего уровня, чем при работе на газе. Без использования рециркуляции дымовых газов в зону горения или ступенчатого сжигания по высоте топки максимум местного теплового потока при номинальной нагрузке котла может достигать 450–500 кВт/м² и даже более, особенно при недостаточной качественной настройке горелок. При таких значениях теплового потока и допустимых отложениях внутри труб (не более 400 г/м²) температура наружной стенки трубы может достигать 460–470 °С. В таких условиях ресурс металла труб существенно снижается, возникает необходимость периодической замены участков труб с высокой местной тепловой нагрузкой.

При использовании рециркуляции дымовых газов, ступенчатого сжигания и работе на средних нагрузках (70–80% номинальной) тепловые потоки снижаются до 380–400 кВт/м², а температура металла составляет примерно 430–440 °С. Это позволяет при современных химических промывках поддерживать работоспособность труб в течение 10500 ч.

Из сказанного следует, что необходимо постоянно контролировать температуру экранных труб в зоне максимального местного теплового потока с помощью термометрических вставок.

На газомазутных котлах на стене, где установлены горелки, эта зона находится между руслами горелок, на других стенах топки – на уровне второго яруса. На котлах, сжигающих в основном газ (доля мазута менее 10%), зона максимальных тепловых потоков расположена примерно на 1–1,5 м выше второго яруса горелок.

Температурный контроль позволяет установить для каждого котла характерную температуру наружной поверхности экранной трубы при средней и номинальной нагрузке котла и при различной степени накопления отложений (для чистой внутренней поверхности трубы непосредственно после химической промывки, а также через 2 и 4 года после нее). Рост температуры стенки при одинаковой нагрузке котла может свидетельствовать об увеличении количества отложений. Из опыта эксплуатации известно, что для котла, работающего в основном на мазуте, при среднегодовой нагрузке 75–80% номинальной рост отложений на лобовой стороне образца, вырезанного из экранной трубы в зоне максимального теплового потока, составляет примерно 130–150 г/м² в год (за 6000 ч), а увеличение средней температуры вставки при этом не превысит примерно 5 °С,

то есть за год температура вырастает от 425°C для чистой трубы примерно до 430°C. Более интенсивный прирост температуры при данных условиях говорит о наличии наружных водно-химического режима (ВХР) или режима горения. Возможно также, что прирост температур вызван повышенным числом часов работы при номинальной нагрузке, когда тепловой поток существенно увеличивается.

Традиционно для установки температурной вставки требуется предварительно вырезать отрезок трубы экрана и сварить на его место вставку, оснащенную термодатчиками. Как известно, сварные соединения приводят к снижению надежности эксплуатации труб. В связи с этим представляет интерес новая технология размещения датчиков температуры, не требующая врезки в экранную трубу [7].

ВТИ совместно с «Нижневэнерго» предложили методику [1] выбора и обработки теплотехнических и химических показателей работы поверхностей нагрева барабанных котлов с последующим прогнозированием длительности межпромывочного периода. С ростом количества отложений повышается и температура наружной стенки.

Температура наружной стенки экранной трубы определяется следующим выражением:

$$t_n = t_s + \mu\beta q \left(\frac{1}{\alpha_2} + \frac{2}{1 + \beta \lambda_m} S \right),$$

где t_n – температура стенки экранной трубы; t_s – температура насыщения при давлении в барабане; μ – коэффициент растечки тепла; β – отношение наружного диаметра трубы к внутреннему; q – тепловой поток; α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к среде; λ_m – коэффициент теплопроводности металла; S – толщина стенки трубы.

На рис. 2 приведены расчетные зависимости температуры наружной стенки труб барабанного и прямоточного типа котлов от теплового потока [9], построенные с помощью вышеприведенной формулы.

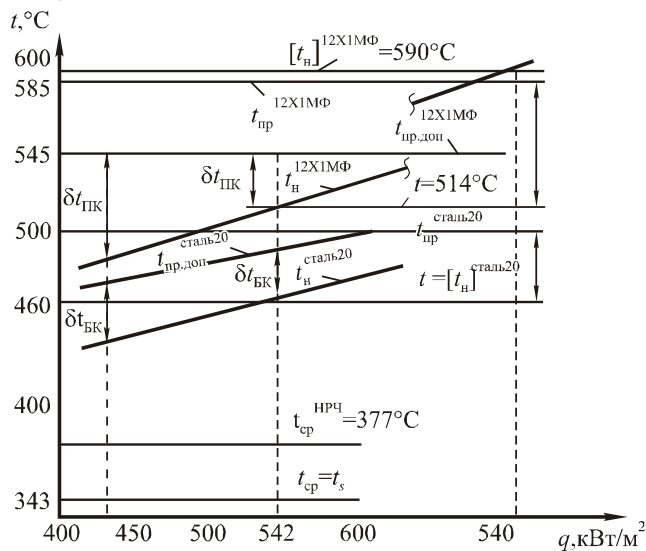


Рис. 2. Зависимость температуры наружной стенки трубы (стали 20 и 12X1МФ) от теплового потока,

где t_n – температура наружной стенки чистой трубы; $[t_n]$ – допустимая температура трубы (относительно наружной стенки); $t_{пр}$ – предельная температура наружной стенки; $t_{пр.доп}$ – предельно допустимая температура наружной стенки; $\delta t_{БК}$ – допустимый диапазон роста температуры трубы за межпромывочный период для барабанного котла; $\delta t_{БК}$ – допустимый диапазон роста температуры трубы НРЧ за межпромывочный период для прямоточного котла;

разность между температурами наружной стенки загрязненной и чистой труб ($\Delta t = t_{пр.доп} - t_n$) есть допустимый диапазон роста их

температур за межпромывочный период. С уменьшением теплового потока температурный диапазон на барабанном котле увеличивается незначительно, поэтому рост температуры наружной стенки за межпромывочный период рекомендуется ограничить 30°C [4]. По ее достижении при ближайшем ремонте следует выполнить вырезку образцов рядом с термодатчиком для проверки количества отложений.

Предельно допустимой температурой для углеродистой стали является температура внутренней стенки, которая для стали 20 не должна превышать 400°C. При этом условии была определена предельно допустимая температура наружной стенки в зависимости от теплового потока.

Установка на всех котлах термометрических вставок позволяет контролировать температуру наружной стенки экранов в топочной камере котла. Вставки должны быть расположены в зоне максимально воспринимаемых тепловых потоков. Их размещение по длине топки, прежде всего, дает возможность фиксировать тепловые перекосы и равномерно нагружать каждый из отсеков, т.е. регулировать работу газовых горелок (см. рис. 3).

Учитывая большую погрешность измерений с помощью температурных вставок и возможную недолговечность последних, а также ограниченное количество вырезок экранных труб, для оценки длительности межпромывочного периода необходим дополнительный фактор, определяющий образование отложений и коррозию металла. Этим фактором является качество теплоносителя.

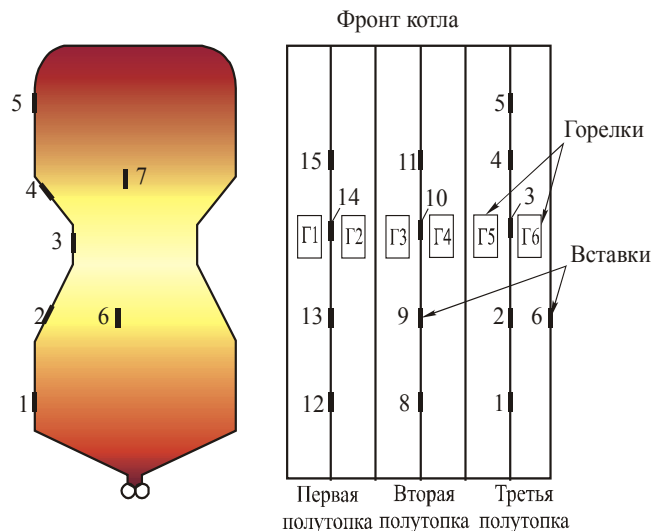


Рис. 3. Предлагаемая схема температурных вставок (1-15) котла ТГМЕ-428

Для диагностики (прогнозирования) длительности межпромывочного периода газомазутных котлов и ее увеличения до расчетного ресурса работы экранных труб необходим более дифференцированный и жесткий подход к оценке показателей качества теплоносителя, чем в действующих ПТЭ.

Предлагается разделить качество питательной воды на четыре категории и определить в реальном времени длительность работы в каждой из них.

Они характеризуются следующим качеством питательной воды:

Категория 1: $J_{Ca} - 0,2$ мкг-экв/дм³; УЭП_н (удельная электрическая проводимость) – 0,12...0,3 мкСм/см; HCO_3 – менее 150 мкг/дм³; $Fe - 2,0...5,0$ мкг/дм³; $Cu - 0,5...1,5$ мкг/дм³.

Категория 2: $J_{Ca} - 0,2...0,5$ мкг-экв/дм³; УЭП_н – 0,3...0,6 мкСм/см; $HCO_3 - 150...300$ мкг/дм³; $Fe - 5,0...10,0$ мкг/дм³; $Cu - 1,5...3,0$ мкг/дм³.

Категория 3: $J_{Ca} - 0,5...1,0$ мкг-экв/дм³; УЭП_н – 0,6...1,5 мкСм/см; $HCO_3 - 300...500$ мкг/дм³; $NH_3 - 500...1000$ мкг/дм³; $Fe - 10,0...20,0$ мкг/дм³; $Cu - 3,0...5,0$ мкг/дм³.

Категория 4: Ж_{Ca} – более 1,0 мкг-экв/дм³; УЭП_н – более 1,5 мкСм/см; HCO_3^- – более 500 мкг/дм³; NH_3 – более 1000 мкг/дм³; Fe – более 20,0 мкг/дм³; Si – более 5,0 мкг/дм³.

Каждая категория питательной воды имеет свой расчетный межпромывочный период (1 – 100000, 2 – 80000, 3 – 50000, 4 – менее 20000 ч) при определенных скоростях роста температуры и отложений (см. рис. 4).

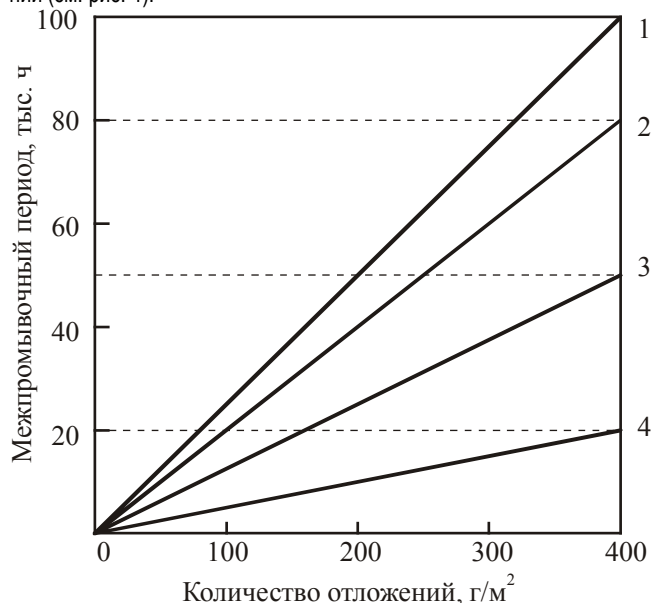


Рис. 4. Длительность межпромывочного периода и категория качества питательной воды при допустимом росте температуры наружной стенки экранной трубы 30 °С и количестве отложений 400 г/м² за межпромывочный период

Следует отметить, что категории качества 1 и 2 могут иметь ТЭС при глубоком обессоливании добавочной воды и производственного конденсата (УЭП менее 0,3 мкСм/см).

Влияние паровой нагрузки на снижение продолжительности межпромывочного периода при различных категориях качества питательной воды оценивается разными коэффициентами влияния: $K_1=0,1$ при паровой нагрузке, например, ТГМЕ-428 (топливо – газ), равной 300 т/ч, $K_2 = 0,5$ – при 301...400 т/ч и $K_3=1$ – более 400 т/ч.

Влияние на снижение длительности межпромывочного периода качества котловой воды чистого отсека определяется по отклонению от следующих показателей: $\text{pH}_{25} < 9,3$ $\text{Щ}_{\text{фф}} < 0,02$ мг-экв/дм³, УЭП > 10 мкСм/см.

Расчет снижения продолжительности межпромывочного периода с учетом качества котловой воды ведется для каждой конкретной категории питательной воды с коэффициентом влияния котловой воды, равным 100.

Данная методика основана на предполагаемом соответствии скорости роста температуры металла и отложений категориями качества питательной воды, обеспечивающим тот или иной межпромывочный период, с уточнением его длительности с помощью коэффициентов влияния паровой нагрузки и качества котловой воды. В данной методической разработке оценка качества теплоносителя обусловлена длительностью межпромывочного периода, который определяется скоростью роста температуры и отложений в экранных трубах при допустимом росте температуры наружной стенки 30 °С и количестве отложений 400 г/м² за межпромывочный период.

Как видно из рисунка 4, с учетом указанных ограничений можно определить продолжительность межпромывочного периода при измеряемых в условиях эксплуатации скорости роста отложений [мг/(м²·ч)] и температуры металла (°С/ч), а также планировать периодичность вырезок экранных труб в наиболее теплонапряженных участках.

При оценке длительности межпромывочного периода по температурным вставкам предлагается подсчитывать скорость роста температуры металла через каждые 5 тыс.ч. эксплуатации, начиная непосред-

ственно после кислотной промывки (или установки новых вставок) при наиболее характерных для данной станции паровых нагрузках.

Категории качества питательной воды: 1 – $0,3 \cdot 10^{-3}$ °С/ч (4 мг/м²·ч), периодичность вырезок образцов 7 лет; 2 – $0,37 \cdot 10^{-3}$ °С/ч (5 мг/м²·ч), 6 лет; 3 – $0,6 \cdot 10^{-3}$ °С/ч (8 мг/м²·ч), 4 года; 4 – $1,5 \cdot 10^{-3}$ °С/ч (20 мг/м²·ч), 2 года

Предлагаемая методика технической диагностики межпромывочного периода может быть реализована на ТЭС с организованным температурным контролем на теплонапряженных поверхностях нагрева котла и развитой системой химико-технологического мониторинга водно-химического режима.

Для котлов прямоточного типа с гидразинно-аммиачным водным режимом была разработана методика расчета коррозионных потерь и температурного режима экранных труб для стационарных котлов сверхкритического давления [9].

Влияние качества воды. Прямую опасность целостности экранных труб зачастую представляют не внутритрубные отложения, а качество котловой, а, следовательно, питательной и добавочной воды. Менее глубокое обессоливание добавочной воды и отсутствие конденсатоочистки компенсируются на наших ТЭС продувками барабанных котлов и фосфатированием, но пониженная надежность экранов с естественной циркуляцией доказывает недостаточность такой компенсации.

В работах НПО ЦКТИ также доказывается, что интенсивность внутритрубных отложений, их теплопроводность и тепловая нагрузка не определяют, к сожалению, температурные условия работы металла экранных труб. Поэтому более полную картину загрязнений, как количественную позволят получить метод вырезки образцов.

Диагностирование межпромывочного периода работы котлов бесспорно является исключительно важной и актуальной задачей, позволяющей обеспечивать надежность и экономичность работы оборудования. Но вместе с тем необходимо учитывать, что в результате эксплуатационных химических очисток имеют место:

- недовыработка электроэнергии за счет простоя оборудования;
- расходы на дорогостоящие моющие реагенты;
- трудозатраты на проведение химической очистки;
- необходимость обезвреживания токсичных сточных вод химпромывок.

С учетом вышеприведенных факторов избранный водно-химический режим энергоблоков должен быть таким, чтобы межпромывочный период был наиболее продолжительным – желательно, чтобы он соответствовал длительности между капитальными ремонтами, и сама химическая очистка оборудования совмещалась бы с капитальным ремонтом.

Опыт отработки оптимального ВХР прямоточных котлов доказал, что это возможно.

В настоящее время для котлов СКД вопрос о водно-химическом режиме решен однозначно в пользу нейтрально-окислительного водного режима (НОВР) с дозированием в конденсатно-питательный тракт кислорода (иногда воздуха) или перекиси водорода. Существуют различные варианты НОВР, которые отличаются в основном методом и местом ввода окислителя в тракт энергоблока. В ряде случаев, в связи с тем, что турбинный конденсат после БОУ имеет $\text{pH} < 7$, практикуют дозирование в питательную воду незначительного количества аммиака.

Обязательными условиями при применении НОВР являются:

- глубокое обессоливание конденсата и питательной воды, электропроводимость которых не должна превышать 0,15–0,25 мкОм/см во избежание язвенной коррозии углеродистых и малолегированных сталей, а также коррозионного растрескивания аустенитных сталей;
- один металл в ПКТ, т.е. замена латунных труб конденсатора и ПНД на углеродистую сталь;
- показатель среды pH должен поддерживаться на уровне, близком к нейтральной точке.

Только при строгом соблюдении указанных условий на поверхности металла образуется защитный (пассивирующий) слой, состоящий из оксигидрата железа. Защитные свойства оксидных пленок определяются их структурой (пористостью), толщиной и адгезией к металлу.

Пассивное состояние металла обеспечивают плотные, сплошные тонкие оксидные пленки. По составу они могут состоять из различных модификаций гематита Fe_2O_3 , магнетита Fe_3O_4 и вюстита FeO . Соотношение этих компонентов зависит от температуры теплоносителя и особенностей НОВР. При оптимальных условиях на поверхности металла образуется окисная пленка, состоящая из магнетита, который в процессе эксплуатации котла постепенно покрывается насосным слоем гематита. Из-за разницы в кристаллической структуре окислов, образующих наружный и внутренний слои образований, связь между ними непрочная. Это делает невозможным значительный рост наружного слоя железистоокисных отложений, так как рыхлый слой гематита легко удаляется при пусках и остановках котлов. Практически это позволило существенно увеличить межпромысловый период эксплуатации котлов СКД, а во многих случаях и полностью отказаться от проведения эксплуатационных химических очисток.

Для котлов барабанного типа в ближнем и дальнем зарубежье в настоящее время практикуется применение блочной обессоливающей установки для очистки турбинного конденсата и работа на питательной воде самого высокого качества. Это позволяет значительно упростить коррекционную обработку теплоносителя при одновременном увеличении межпромыслового периода.

Заключение. Следует обратить внимание на ухудшение экологической обстановки водоисточников поверхностного типа. Загрязнение природной воды специфическими формами органических примесей, не удаляемых традиционными методами очистки воды на ХВО, вызывает серьезные проблемы при эксплуатации котлов как прямоточного, так и барабанного типов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Динамика межпромыслового периода эксплуатации барабанных котлов высокого давления на основе температурных вставок и показателей качества воднохимического режима / А.Ф. Богачев, В.В. Ульянов [и др.] // Теплоэнергетика – № 7. – 2004.
2. О температурном контроле металла экранных труб котлов высокого давления с естественной циркуляцией / Ю.В. Козлов // Электрические станции. – № 10. – 2001.
3. Плиссин, Г.И. Метод технической диагностики оборудования отложений на теплопередающей поверхности котлов и конденсаторов турбин.
4. Температурный режим и контроль состояния экранных труб / В.В. Холщев // Теплоэнергетика. – № 8. – 2000.
5. Василенко, Г.В., Сутоцкий, Г.П. Предельно допустимая внутренняя загрязненность топочных экранов барабанных котлов высокого давления.
6. Методические указания по контролю за состоянием основного оборудования тепловых электрических станций; определение количества и химического состава отложений: РД34.37.306-87 – М.: ВТИ, 1987.
7. Применение системы контроля температуры экранов котлов ТГМЕ-464 для анализа работы топки в пускоостановочном режиме / А.М. Грибков, Ю.В. Щелоков, П.М. Тюклин // Теплоэнергетика. – № 9. – 2004.
8. Белоконова, А.Ф. Водно-химические режимы тепловых электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
9. Холщев, В.В. Температурный контроль состояния экранных труб // Теплоэнергетика. – №8. – 2000.

Материал поступил в редакцию 13.04.09

KARNITSKI N.B., CHIZ V.A., NEREZKO A.V. Effectivity raising of boiler acting of HES by using of temperature monitoring of heat surfaces

It is shown in this article possible of increasing of effective boiler by studying of heat surfaces temperature regime.

УДК 621.181

Карницкий Н.Б., Чиж В.А., Нерезько А.В.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ЗАНОСА ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Введение. Современные теплоэнергетические установки развиваются по пути создания новых технологий топливоиспользования и совершенствования традиционных способов выработки электроэнергии и теплоты. При этом можно отметить, что органическое топливо в ближайшее время и на перспективу будет доминирующим в топливном балансе страны при увеличении доли местных видов топлива. Проблема топливоиспользования с максимальной эффективностью, при повышении цены на газообразное и жидкое топливо, становится еще более актуальной.

Важным показателем различных видов органического топлива является минеральная часть, которая влияет на занос поверхностей нагрева, эрозийный износ, к.п.д. котла и выбор типа золоулавливающих устройств. Для прогнозирования ряда зависящих от минеральной части показателей, в том числе такого, как сыпучие свойства, в отечественной практике нет даже более или менее признанных эмпирических зависимостей. Показатели работы котлов ТЭС зависят от количества и свойств минеральной части золы. В практических условиях взамен величины содержания минеральных примесей применяется такой показатель, как зольность топлива (A), представляющая собой массу неорганического остатка (золы) после полного сгорания топлива, отнесенную к единице массы исходного топлива. Состав минеральной части характеризуется усредненным (валовым) химическим составом, выраженным, как правило, в виде предельных окислов (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O).

Для углей низкой степени углеродизации, к которым смело можно отнести и бурые угли, имеющиеся на территории нашей республики, составы внутренней и внешней золы существенно различаются. Внутренняя зола содержит минеральные элементы органических соедине-

ний и мелкие минеральные примеси. Внешняя зола – это часть, которая при размоле отделяется от органического угольного вещества и состоит из крупных минералов, их ассоциаций и сростков.

При неизменном составе внутренней и внешней золы изменение содержания каждого из компонентов $R_m O_n$ (здесь $R_m O_n$ один из компонентов, например, K_2O , Na_2O , SiO_2 и т.д.) по уравнению смешения может быть определено по выражению:

$$R_m O_n = \epsilon + aP,$$

где $P=100/A$; A , % - зольность топлива, a и ϵ – эмпирические коэффициенты, рассчитанные по составу внутренней и внешней золы.

Процесс образования отложений на поверхностях нагрева.

В процессе горения неорганическая часть топлива подвергается воздействию высоких температур и продуктов сгорания. Физико-химическая характеристика образующихся в топке и газоходах котельного агрегата зависит не только от свойств неорганической части топлива, но и от температуры факела, состава газовой среды, размеров частиц топлива, времени пребывания частиц в топке и газоходах, и многое другое. Процессы превращения неорганической части топлива в котле протекают в следующих плоскостях [1]:

- разложение первичных минералов на более простые соединения;
- улетучивание (сублимация, испарение) отдельных компонентов топлива и образование мелкодисперсных минералов (аэрозолей);
- образование под воздействием температуры газовой среды новых минералов;
- переход отдельных частиц или всей минеральной массы в пластическое или жидкое состояние.