

АНАЛИЗ ПРИЧИН, ВЫЗЫВАЮЩИХ НЕОБХОДИМОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОЧИСТОК ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ НА РАЙОННЫХ КОТЕЛЬНЫХ

А.В. Грубов,
начальник Управления эксплуатации,
экологической и промышленной безопасности, ГУП «ТЭК СПб»,
г. Санкт-Петербург

К числу основных факторов, влияющих на технико-экономические показатели работы котельных, относится загрязненность внутренних поверхностей нагрева тепломеханического оборудования. Превышение нормативных значений удельной загрязненности внутренних поверхностей нагрева водогрейных котлов (теплообменников) приводит к неоправданному увеличению эксплуатационных затрат, связанных с повышением удельного расхода топлива, затрат на проведение ремонтов и эксплуатационных очисток, а также затрат электроэнергии на обеспечение заданных гидравлических параметров теплоисточника.

Наиболее объективно загрязненность внутренних поверхностей нагрева водогрейных котлов оценивается по удельной загрязненности, определяемой по результатам вырезов котловых труб и измеряемой количеством граммов отложений, образовавшихся на 1 м² внутренней поверхности. Недостатком этого метода является невозможность непрерывного контроля интенсивности роста отложений и сложность документального оформления сварочных работ, выполненных в пределах котла.

На практике для контроля загрязненности внутренних поверхностей оборудования более удобен косвенный метод оценки, основанный на определении гидравлического сопротивления котлоагрегата, приведенного к расчетной циркуляции. Этот метод позволяет в одинаковых условиях непрерывно и с высокой точностью оценивать загрязненность внутренних поверхностей нагрева, а также своевременно определять необходимость производства эксплуатационных очисток. Расчетное приведенное гидравлическое сопротивление котла ($\Delta P_{расч}$) определяется по формуле:

$$\Delta P_{расч} = (Q_{расч} / Q_{факт})^2 \cdot \Delta P_{факт}$$

где $Q_{расч}$ - расчетная циркуляция водогрейного котла, приведенная к номинальному расходу теплоносителя (по данным справочников и паспортов принимается равной для ПТВМ-30 - 425 м³/ч, ПТВМ-50 - 625 м³/ч, ПТВМ-50 - 750 м³/ч, КВГМ-100 - 1235 м³/ч); Q , $\Delta P_{факт}$ - фактическая циркуляция водогрейного котла в м³/ч и фактическое гидравлическое сопротивление водогрейного котла в кгс/см², соответственно (принимаются по данным расходомеров, манометров).

Необходимость приведения гидравлического сопротивления к расчетной циркуляции обуславливается тем, что при снижении циркуляции возможна эксплуатация даже предельно загрязненных котлов. Так, в реальных условиях, как показано на рис. 1, эксплуатация котла при расчетной циркуляции была бы невозможна, т.к. его сопротивление составило бы 20,4 кгс/см². В этих условиях для обеспечения приемлемого перепада циркуляция была снижена до 1375 м³/ч (на 38% по отношению к расчетной). Однако такой режим работы водогрейного котла является крайне нежелательным, поскольку приводит к интенсификации роста отложений, пережогам и аварийным ситуациям.

Для поддержания водогрейных котлов в рабочем состоянии и обеспечения необходимых режимов тепловой сети необходимо проводить очистку оборудования от внутренних отложений. В настоящее время для очистки водогрейных котлов используются в основном кислотные промывки.

Однако следует заметить, что кислотные промывки приводят не только к увеличению эксплуатационных расходов, но и к сокращению сроков службы котла. Интенсивность проведения кислотных промывок говорит о наличии отклонений в эксплуатации не только котлоагрегата, но и всех элементов системы теплоснабжения.

Данный материал посвящен комплексному анализу причин, вызывающих необходимость производства эксплуатационных очисток водогрейных котлов.

В ходе анализа были рассмотрены условия эксплуатации водогрейных котлов (ПТВМ-50, КВГМ-50, КВГМ-180) на отопительных котельных с установленной мощностью от 85 Гкал/ч (98 МВт) до 800 Гкал/ч (938 МВт).

Выявление причин, определяющих повышенную интенсивность загрязнений внутренних поверхностей нагрева котлов и связанную с этим необходимость частого проведения химических промывок, проводилось на основании анализа следующих факторов:

- водный режим, схемы и оборудование водо-подготовки;
- конструкция и режимы работы котлов;
- технологические схемы водогрейной части котельных;

- наличие установок по очистке обратной сетевой воды;
- применение коррозионного ингибирования подпиточной и сетевой воды.

Водный режим, схемы и оборудование водоподготовки

Основные причины повышенного содержания агрессивных газов в подпиточной воде следующие:

- неудовлетворительная работа деаэраторов, особенно вакуумных;
- неисправность охладителей деаэрированной воды атмосферных деаэраторов;
- аэрация воды в баках-аккумуляторах горячей воды.

При анализе было выявлено, что основной причиной загрязнения поверхностей нагрева водогрейных котлов является нарушение режимов работы оборудования, предназначенное для подготовки и хранения подпиточной воды. К примеру, на ряде котельных ГУП «ТЭК СПб» в период с 1994 до 2000 гг. наблюдалась стабильная работа всех водогрейных котлов ПТВМ-50 без существенного роста перепадов давления. Промывки и ремонты котлов не проводились. Некоторые котельные работали с антикоррозионным ингибированием.

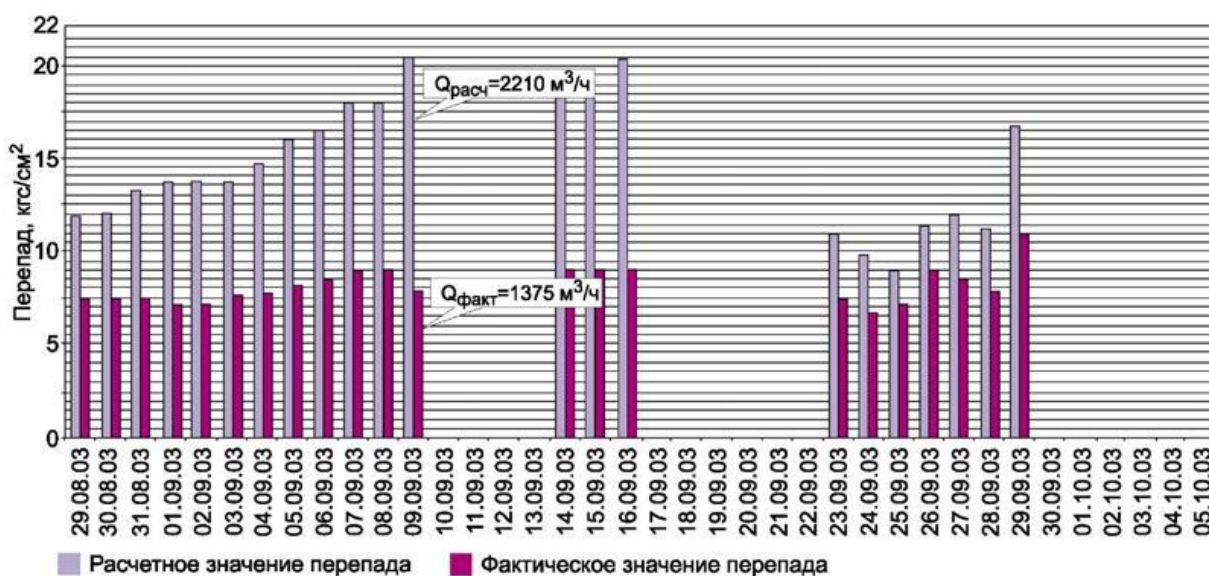


Рис. 1. Данные о полном гидравлическом сопротивлении водогрейного котлоагрегата КВГМ-180, приведенном к номинальной циркуляции.

В период с 2000 по 2004 гг. на этих же котельных наблюдался систематический рост перепадов давлений на котлах и связанные с этим частые химические промывки. В этот период часто и в течение длительного периода осуществлялся подмес недеаэрированной воды в подпиточную воду, что приводило:

- к увеличению концентрации кислорода в десятки раз по отношению к норме;
- к появлению угольной кислоты в подпиточной воде. О роли присутствия угольного газа в подпиточной воде, поступающей из аккумуляторных баков, следует сказать особо. Свободный диоксид углерода присутствует во всех природных водах, имеющих $pH < 8,3$. С ростом концентрации угольного газа (понижение pH) интенсифицируется скорость коррозии металлов. Причем, доля коррозионного процесса с водородной поляризацией при нагревании воды непрерывно возрастает. При наличии свободной угольной кислоты и температурах, превышающих $40^\circ C$, этот процесс резко усиливается, т.к. в присутствии кислоты происходит разрушение железо-карбонатных и железо-окисных пленок, защищающих внутренние поверхности оборудования.

Причинами, приводившими к необходимости подмеса сырой воды, были:

- большая величина утечек в тепловых сетях из-за их неудовлетворительного состояния;
- отсутствие защиты от коррозии баков-аккумуляторов и воды в них от аэрации;
- неиспользование всей установленной мощности паровых котлов (паропроизводительность одного котла при работе не превышала 20 т/ч);

□ нарушения в работе охладителей деаэрированной воды (загрязнение теплообменных поверхностей, снижение их производительности за счет установки заглушек на дефектных трубах).

Так как производительность охладителей деаэрированной воды сетевых деаэраторов снизилась, температура воды, которая поступала в аккумуляторные баки, а затем на подпитку сети, достигала более 90 °С. Эту воду «расхолаживали» до 70 °С недеаэрированной водой из городского водопровода.

Высокая степень аэрации воды O₂ в баках-аккумуляторах является одной из основных причин интенсификации коррозионных процессов в водогрейных котлах и в трубопроводах тепловой сети.

Основной причиной загрязнения поверхностей нагрева водогрейных котлов является неудовлетворительная подготовка подпиточной воды. В первую очередь это происходит из-за плохой работы вакуумных деаэраторов ДВ-800. Содержание кислорода в подпиточной воде в диапазоне 80-100 мкг/кг и более (при норме 50 мкг/кг) - обычное явление в течение отопительного сезона. Концентрация кислорода в воде до и после котлов отличается в среднем на 10-20 мкг/кг (в ряде случаев и более), а наличие углекислого газа в воде после вакуумных деаэраторов способствует увеличению активности протекания коррозионных процессов, в том числе и непосредственно в котлах.

Следует также отметить, что на большинстве котельных линии отбора проб воды достаточно протяженные и выполнены из углеродистой стали, что не позволяет достоверно определять концентрации кислорода и углекислого газа. Результаты измерений кислорода на входе и выходе из пробоотборных линий при расходе 30 л/ч на некоторых котельных показали, что концентрации кислорода в пробоотборной линии уменьшились в 23 раза. Стационарные кислородомеры современных конструкций на котельных в большинстве случаев отсутствуют. Для определения концентрации растворенного кислорода химслужбы применяют лабораторные методики визуальной калориметрии с химическим реактивом метиленовым голубым и титрование по методу Винклера. Использование метиленового голубого химического реактива позволяет регистрировать концентрации кислорода в диапазоне от 0 до 100 мкг/л. Метод Винклера дает возможность определять концентрацию O₂ начиная от 200 мкг/л и выше. Поскольку существующие нормы лежат в пределах 3050 мкг/л, то основным методом, который применяется на котельных предприятия, является метод с использованием метиленового голубого химического реактива. Сопоставление показаний ручного анализатора КАМ-05П с результатами определения концентрации кислорода с помощью метиленового голубого на модельных растворах показало, что метод с применением метиленового голубого реактива носит исключительно субъективный характер. Если концентрация O₂, измеренная с применением метиленового голубого, составляет 60-80 мкг/л, то реальная концентрация в 2-3 раза больше.

Конструкция и режимы работы котлов

На котельных отмечается рост перепадов на котлах при включении их в работу после длительной остановки. Причиной роста перепада могли послужить следующие обстоятельства:

- некачественная промывка трубопроводов тепловой сети перед началом отопительного сезона;
- отсутствие или некачественная консервация котлов.

Некачественная консервация, либо ее полное отсутствие, может приводить к дополнительному росту железо-окисных отложений на поверхностях нагрева и последующему росту гидравлического сопротивления котлов.

В межотопительный период консервация водогрейных котлов производится либо путем заполнения их подпиточной водой и поддержания в них избыточного давления за счет работы подпиточных насосов, либо с использованием ингибиторов. Очень часто из-за низкой герметичности запорной арматуры имеет место небольшая циркуляция воды через котел. В этом случае вместе с подпиточной водой в котлы попадают агрессивные газы, приводящие к стояночной коррозии поверхностей нагрева.

Другой причиной загрязнения внутренних поверхностей нагрева водогрейных котлов являются поступающие из тепловой сети продукты коррозии. Так, например, на ряде котельных все же имел место повышенный рост гидравлического сопротивления котлов, несмотря на удовлетворительное качество подготовки подпиточной воды, постоянного наличия резерва водоподготовительного оборудования и наличия защиты от аэрации воды в баках-аккумуляторах.

Работа экранных и конвективных поверхностей нагрева водогрейных котлов связана с опускным и подъемным движением воды. При этом надежность работы экранных труб с опускным движением обеспечивается лишь при достаточно высоких скоростях воды. Минимальные значения массовых скоростей, допустимых с точки зрения стабильности работы экранных труб с подъемным и опускным движением воды, имеют различные значения и возрастают с увеличением удельной тепловой нагрузки трубных поверхностей нагрева. В целом работа поверхностей нагрева без перегрева, в результате которого образуются свищи, гарантируется при условии безусловного обеспечения расчетного расхода теплоносителя (воды) через котел.

Анализ режимов работы водогрейных котлов показал, что зачастую это требование не выполняется. На ряде котельных из-за большого гидравлического перепада на котлах допускалось снижение расхода воды ниже минимально допустимого уровня, определенного заводом-изготовителем, а соответственно и скоростей в поверхностях нагрева от расчетных значений. Характерно, что если на котле расход воды не опускался ниже

предельного значения, то и сопротивление котла росло незначительно, а если на котлах были случаи снижения расхода воды ниже предельных значений, то гидравлическое сопротивление котла при этом заметно росло.

При анализе работы других котельных, где расходы воды через котлы постоянно поддерживались на уровне, определенном заводом-изготовителем, практически не наблюдался рост их гидравлического сопротивления даже в начале отопительного сезона (в течение октября), когда в сетевой воде находится наибольшее количество железо-окисных соединений.

Это подтверждает заключение, что чем ниже расход воды через котлы, тем интенсивнее идут процессы отложений на поверхностях нагрева. Кажущаяся видимость снижения гидравлического сопротивления котла при пониженных расходах воды может быть опровергнута элементарным перерасчетом величины фактического сопротивления на условия работы котла с расчетным расходом воды. Кроме того, низкие расходы воды через котлы увеличивают время контакта кислорода подпиточной воды с поверхностями нагрева.

Одновременно с этим установлено, что котлы КВГМ-180, работающие в пиковом режиме (2-х ходовая схема), значительно менее подвержены загрязнению, чем котлы, работающие в основном режиме (4-х ходовая схема). Наиболее вероятно это связано с тем, что при 2-х ходовой схеме, по отношению к 4-х ходовой, в 2 раза сокращается водяной тракт и время взаимодействия сетевой воды с поверхностями нагрева котла.

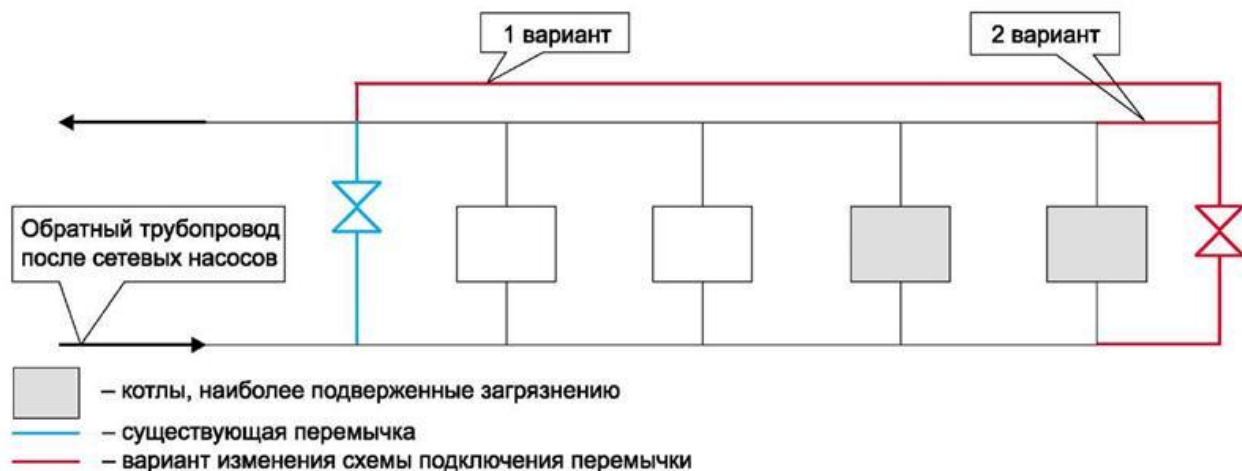


Рис. 2. Изменение схемы подключения котлов с целью снижения интенсивности загрязнений котлов.

Основная составляющая загрязнений - железо-окисные соединения, поступающие в котлы с обратной сетевой и подпиточной водой. Наличие железо-окисных соединений в подпиточной воде объясняется тем, что их содержит исходная вода.

Технологические схемы водогрейной части котельных

На ряде котельных наибольшему загрязнению подвергаются котлы, которые являются наиболее удаленными («тупиковыми») относительно коллектора обратной сетевой воды после сетевых насосов (4-6 промывок за 5 лет - прим. авт.). Этот факт позволяет сделать предположение, что, при прочих равных условиях, принятые проектные решения обвязки водогрейных котлов влияют на интенсивность их загрязнений.

Данное обстоятельство приводит к необходимости изменения схемы подключения котлов. Как один из вариантов исключения «тупиковой» схемы работы может быть перенос места врезки перемычки подмеса обратной воды в коллектор после котлов (рис. 2).

Наличие оборудования по снижению содержания продуктов коррозии железа и других включений в сетевой воде, поступающей в котельную

Одной из важнейших проблем является защита водогрейных котлов от шлама, поступающего на котельные из тепловых сетей. Основным источником загрязнений сетевой воды в открытых системах теплоснабжения являются за- воздушные внутренние системы отопления зданий и сооружений, в которых в течение 5-6 месяцев межотопительного периода накапливается большое количество продуктов коррозии. С началом периода отопления эти загрязнения в большом количестве сбрасываются в тепловые сети и перераспределяются по всей системе теплоснабжения. В этот период наибольшую опасность представляет так называемый «занос» водогрейных котлов, при котором гидравлическое сопротивление котла может в течение нескольких часов возрасти на 2-3 кгс/см².

В настоящее время на предприятии в качестве средств очистки сетевой воды используется следующее оборудование:

- инерционно-гравитационные грязевики;
- высокоскоростные самоочищающиеся фильтры (ВСФ);
- магнитные шламоотделители (МШО).

Как показал многолетний практический опыт, инерционно-гравитационные грязевики, получившие на предприятии наименование фильтров Суржикова, могут использоваться только как средство предпочистки или как средство защиты котлов от грубодисперсного шлама, поступающего из тепловых сетей в пусковые периоды, поскольку они задерживают частицы загрязнений размером более 100 мкм. По истечении нескольких дней после пуска основная масса загрязнений сетевой воды имеет размер менее 50 мкм и эффективность этого оборудования по очистке сетевой воды от взвешенных веществ снижается до нуля.

ВСФ относятся к эффективным средствам очистки сетевой воды, которые предотвращают попадание механических примесей и продуктов коррозии размером 20 мкм и более в трубную часть водогрейных котлов. Наиболее эффективна их работа в пусковые периоды начала отопительного сезона. Учитывая статистику химических промывок котлов по вышеуказанным котельным, работа ВСФ улучшает условия их эксплуатации.

Наиболее эффективным средством очистки сетевой воды являются МШО, обладающие следующими качествами:

- высокой эффективностью по очистке сетевой воды от мелкодисперсных взвешенных частиц в течение всего периода эксплуатации;
- высокой грязеемкостью при низком гидравлическом сопротивлении и длительном рабочем цикле;
- высокими магнетизирующими свойствами, обеспечивающими (наряду со способностью эффективно очищать сетевую воду) дополнительные возможности:

- способностью эффективно защищать от отложений внутренние поверхности котлоагрегатов, теплообменников (в том числе и пластинчатых), расходомеров и другого дорогостоящего оборудования, позволяя увеличить их КПД и эксплуатационный ресурс;

- способностью создавать на поверхности металла плотную магнетитовую пленку и тем самым снижать интенсивность коррозии оборудования, что позволяет существенно продлить время его безаварийной эксплуатации;

- способностью очищать систему теплоснабжения от ранее образовавшихся отложений.

Применение технологии коллоидного ингибирования

Коллоидное ингибирование - это ввод инертно-механического ингибитора в схему подпиточной воды. В целом технология инертно-механического ингибирования оказывает положительное влияние на эксплуатацию водогрейных котлов. До достижения устойчивых минимальных значений кислорода в котлах и системах в целом необходимы меры по снижению кислородной коррозии путем эффективного ингибирования сетевой воды. Накопленный опыт применения коллоидного ингибирования показывает, что, несмотря на недостаточную эффективность при высоких содержаниях кислорода, его применение при умеренных содержаниях кислорода (в 2-5 раз выше нормируемых значений) обеспечивает длительную работу котлов без химических чисток, увеличивает коррозионный ресурс, а также замедляет внутреннюю коррозию трубопроводов тепловой сети.

Выводы

Анализ влияния всех рассмотренных факторов на надежность и экономичность работы водогрейных котлов, в том числе и на периодичность проведения их химических промывок, позволяет сделать следующие выводы.

1. Наличие агрессивных газов (кислорода, углекислого газа) в подпиточной воде, даже нормативных концентраций, является первопричиной, приводящей к коррозии поверхностей нагрева и появлению железо-окисных отложений в котлах.
2. Росту железо-окисных отложений в котлах способствует присутствие продуктов коррозии в подпиточной и обратной сетевой воде.
3. Нарушение эксплуатационных режимов работы оборудования водоподготовки и хранения подпиточной воды приводит к ухудшению технико-экономических показателей работы котельных и к преждевременному выходу различных элементов системы теплоснабжения из рабочего состояния. К этим нарушениям относятся:

- эксплуатация неисправных теплообменных аппаратов в схемах подготовки подпиточной воды;
- работа котлов с расходами воды существенно ниже паспортных (расчетных) значений;
- отсутствие защиты от коррозии баков-аккумуляторов и воды в них от аэрации;
- несовершенные методы контроля наличия O_2 в водяных трактах котлов и тепловой сети, применяемые на котельных предприятиях.

4. Конструктивные недостатки схемы отопительных котельных, к которым можно отнести:

- плохую работу вакуумных деаэраторов в существующих конструкторских решениях;
- отсутствие в проектных схемах оборудования (фильтров разной конструкции) для очистки и обработки загрязненной различными взвешенными включениями воды, поступающей в котельную из тепловой сети;
- неудачные проектные решения по установке котлов (наличие «тупиковых» зон).