

Водно-химический режим котла



А. Марфина, инженер технической поддержки ООО «Спиракс-Сарко Инжиниринг»

Нормальная работа парового котла и всей пароконденсатной системы прежде всего обуславливается качеством питательной воды. Хорошая питьевая вода необязательно подойдет в качестве питательной воды котла. Содержащиеся в питьевой воде минералы и вещества легко растворяются в теле человека, более того, они ему необходимы. Однако для котлов наличие в воде минералов является существенной проблемой. Если эти минералы и вещества не удалить из воды, они могут повредить котел.

Примеси, часто встречающиеся в сырой воде, можно классифицировать следующим образом:

– **Растворенные твердые вещества.**

Это вещества, которые растворяются в воде и основными из них являются карбонаты и сульфаты кальция и магния, которые при нагреве откладываются на горячих поверхностях и образуют накипь. Существуют и другие растворимые вещества, которые не образуют накипи, поэтому они менее опасны для котла.

– **Взвешенные в воде вещества.**

Эти вещества находятся в воде в виде взвеси и обычно имеют минеральное или органическое происхождение. Эти вещества, как правило, не представляют проблемы, так как могут быть легко отфильтрованы и удалены.

– **Растворенные газы.**

Кислород и двуокись углерода легко растворяются в воде, и их наличие вызывает активную коррозию элементов конструкции котла.

– **Вещества, образующие пену и представляющие собой различные минеральные примеси.**

Примером такого вещества может служить сода в виде карбоната, хлорида или сульфата. Количество примесей в воде чрезвычайно мало, и в результатах анализа воды оно обычно выражается в числе частиц на миллион (ppm), по весу или в миллиграммах на литр (мг/л). Важнейшими показателями качества воды для использования являются: концентрация грубодисперсных примесей (ГДП); концентрация коррозионно-активных газов; водородный показатель (pH); окисляемость; жесткость; содержание кремния; щелочность; общее солесодержание (TDS).

Вода бывает мягкой и жесткой. В жесткой воде содержатся примеси, приводящие к образованию накипи, тогда как в мягкой воде таких примесей нет, либо они есть, но в минимальных количествах. Жесткость обусловлена присутствием в воде минеральных солей кальция и магния. Эти же минералы приводят к образованию накипи.

Существует две общепринятые разновидности жесткости воды:

1. **Щелочная жесткость** (она известна также под названием «временная жесткость»), которая обусловлена бикарбонатами кальция и магния. Эти соли растворяются в воде и образуют щелочной раствор. При нагреве воды эти соли распадаются, образуя двуокись углерода и мягкую накипь или осадок. Иногда используют термин «временная жесткость», так как жесткость воды при кипячении

уменьшается. Результатом того, что вода имеет временную жесткость, является, например, накипь на внутренней поверхности электрического чайника.

В котле происходят следующие химические реакции:

Двуокись углерода соединяется с водой, образуя угольную кислоту:



Известняк (карбонат кальция) растворяется угольной кислотой и образует бикарбонат кальция:



Образование карбоната кальция:



И подобное ему образование карбоната магния:



2. Нещелочная жесткость воды и карбонаты (ее также называют постоянной жесткостью). Эта жесткость также обусловлена присутствием в воде солей кальция и магния, но в виде сульфатов и хлоридов. Эти соли при повышении температуры из-за их пониженной растворимости уходят в осадок и образуют накипь, которую трудно удалить.

Кроме того, присутствие в воде котла оксида кремния может приводить к образованию жесткой накипи, которая вступает в реакцию с солями кальция и магния, образуя силикаты, твердые отложения которых значительно ухудшают теплопередачу и приводят к локальному перегреву котельных труб.

Общая жесткость воды не относится к определенному типу жесткости. Она представляет собой сумму концентраций в воде ионов кальция и магния, выражаемых как $CaCO_3$. Если вода имеет повышенную щелочность, пропорция этой жесткости, равная по величине общей щелочности, также выражаемая как $CaCO_3$, считается щелочной жесткостью, а оставшаяся часть общей жесткости считается нещелочной жесткостью.

Нещелочная жесткость (постоянная) + щелочная жесткость (временная) → общая жесткость.

В воде также присутствуют соли, не приводящие к образованию накипи, такие как соли натрия. Они растворяются в воде намного легче, чем соли кальция и магния, и как правило не образуют накипи на поверхностях котла.



Общая жесткость + соли, не повышающие жесткость → общее солесодержание

Следует рассмотреть еще один термин — *водородный показатель pH*. Это не количественный показатель загрязнения воды. pH — это просто численное значение, представляющее потенциальное содержание водорода в воде, и являющееся мерой либо кислотности, либо щелочности воды. Вода (H_2O) содержит ионы двух типов — ионы водорода (H^+) и гидроксильные ионы (OH^-).

Если ионы водорода доминируют, раствор является кислым, и показатель pH для него находится между 0 и 6. Если же доминируют гидроксильные ионы, раствор является щелочным, и показатель pH для него находится между 8 и 14. Если количество ионов водорода и гидроксильных ионов одинаково, раствор является нейтральным, и показатель pH для него равен 7.

Кислотность и щелочность повышают электропроводимость воды по сравнению с электропроводимостью нейтрального раствора. Например, проба воды с $pH = 12$ имеет более высокую электропроводимость, чем проба с $pH = 7$.

Для улучшения качества питательной и котловой воды и приведения ее к действующим нормам воду подвергают специальной очистке (обработке). Обработка может быть:

- *докотловой*, при которой добавочная или вся питательная вода подвергается очистке до поступления ее в котел,
- *внутрикотловой*, при которой очистка котловой воды осуществляется внутри самого котла.



Ниже приведены типичные методы водоподготовки.

– **Обратный осмос.** Процесс, в котором сырая вода проходит через полупроницаемую мембрану, пропускающую только молекулы воды и задерживающую все примеси.

– **Реагентный метод.** При известковом умягчении гидратированная известь (гидроксид кальция) вступает в реакцию с бикарбонатами кальция и магния, и образуется осадок, который можно удалить. Так можно уменьшить щелочную (временную) жесткость воды. При помощи известково-содового умягчения (кальцинированной содой) можно путем химических реакций уменьшить нещелочную (постоянную) жесткость.

– **Ионообменный метод.** Для подготовки питательной воды котлов, производящих насыщенный пар, этот метод используют наиболее широко.

Применение того или иного метода или их комбинация позволяют получить питательную воду необходимого качества. Требования к водно-химическим режимам паровых жаро- и водотрубных котлов давлением до 20 бар существенно отличаются (см. табл. 1).

Таблица 1. Типичные требования к водно-химическим режимам паровых жаро- и водотрубных котлов давлением до 20 бар

Требования к питательной воде	Жаротрубный котел	Водотрубный котел
рН	более 9,2	более 8,5
Электропроводимость при 25°С	не более 300 мкСм/см (5% предельного значения для котловой воды)	не устанавливается
Жесткость	не более 0,01 ммоль/л	не более 0,2 ммоль/л
Щелочность (по фенол-фталеину)	0,1– 0,7 мг-экв/л	0,3 мг-экв/кг
Содержание кислорода (O ₂)	менее 0,05 мг/л	менее 0,1 мг/л
Содержание железа (Fe)	менее 0,3 мг/л	менее 0,05 мг/л
Содержание меди (Cu, общее)	не более 0,05 мг/л	не более 0,02 мг/л

Требования к питательной воде	Жаротрубный котел	Водотрубный котел
Содержание масла	менее 1 мг/л	менее 1 мг/л
Содержание кремниевой кислоты (SiO ₂)	не более 7,5 мг/л (5% предельного значения для котловой воды)	не устанавливается
pH при 25°C	10,5–12	10,5–11,8
Щелочность гидратная	1–12	не нормируется
Жесткость	не более 0,01 ммоль/л	не более 0,05 мг/л
Электропроводимость при 25°C	менее 6000 мкСм/см	менее 6000 мкСм/см
Окисляемость	менее 150 мг/л	не нормируется
Содержание фосфата (PO ₄ -3)	10–30 мг/л	1,1–38 мг/л
Содержание кислородосвязывающего средства (сульфит натрия Na ₂ SO ₃)	10–30 мг/л	не нормируется
Содержание кремниевой кислоты	менее 150 мг/л	не нормируется

В связи с большими удельными тепловыми потоками в жаровой трубе и поворотной камере по сравнению с водотрубными котлами к качеству воды жаротрубных котлов предъявляют более жесткие требования. Неоптимальная организация водного режима ведет к ухудшению теплопередачи, образованию шлама, развитию интенсивной коррозии. Все эти факторы ведут к уменьшению срока службы оборудования и увеличению стоимости обслуживания и ремонта, снижению рентабельности и увеличению частоты простоев.

Основным средством для поддержания требуемого нормами качества котловой воды, кроме соответствующей обработки исходной воды и, если требуется, конденсата, является продувка котла. С помощью продувки представляется возможным в широких пределах регулировать концентрации солей и щелочей в котловой воде, удалять из котла взвешенные вещества и шламовидные осадки.

Соблюдение рационального режима продувок котлов является одним из важнейших мероприятий по организации водного режима, обеспечивающего нормальную работу котлов. Чем больше потери конденсата в общем пароконденсатном балансе предприятия, тем больше значение продувки и потери тепла. Существует два способа продувки котлов: периодическая и непрерывная.

Периодическая продувка осуществляется для удаления грубодисперсного шлама, оседающего в нижних коллекторах (барабанах) водотрубных котлов и нижних частях корпусов жаротрубных котлов. Периодическая продувка проводится по установленному графику в зависимости от типа котла. Открытие клапана периодической продувки осуществляется на непродолжительное время, за которое шлам успевает полностью удалиться. Производители современных жаротрубных котлов предлагают системы автоматической периодической продувки по таймеру. В первую очередь это необходимо для котельных, работающих в полностью автоматическом режиме.

Непрерывная продувка осуществляется для поддержания в котловой воде допустимого солесодержания, обеспечивающего получение чистого пара. В жаротрубных котлах непрерывная продувка обычно осуществляется от зоны зеркала испарения, где скапливается наибольшее количество солей. В водотрубных котлах со ступенчатым испарением продувка проводится из соленых отсеков паровых (верхних) барабанов.

Количество продувочной воды нормируется по общему солесодержанию (сухому остатку), значение которого обуславливается типом котла, его конструктивными особенностями и определяется производителем. Абсолютное значение щелочности котловой (продувочной) воды не нормируется. Тем не менее, пониженная щелочность котловой воды усиливает процесс коррозии, заключающийся в разъедании и изъязвлении стенок корпусов и труб.

Повышенный же уровень щелочности приводит к повышенному пенообразованию на поверхности зеркала испарения, а в худшем случае может привести к вспениванию во всем объеме, что, в свою очередь, приведет к срабатыванию системы защиты по низкому уровню и отключению горелки. Таким образом необходимо обеспечивать нормальный уровень щелочности котловой воды, что достигается правильной организацией водоподготовки.

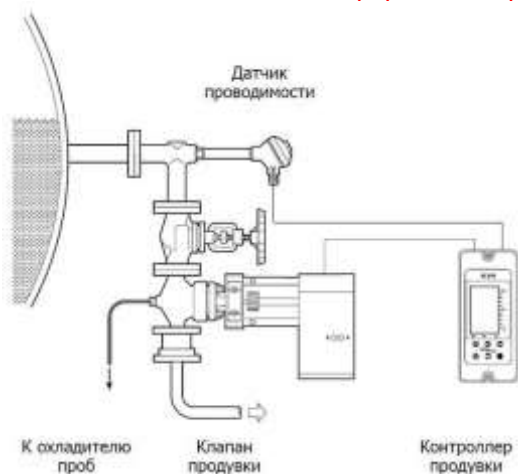
Часто уровень щелочности поддерживают с помощью непрерывной продувки котла. У такого способа есть ряд существенных недостатков:

- сложность / невозможность автоматизации из-за высоких температур воды;
- неконтролируемые изменения уровня щелочности между периодами контроля;
- существенно большие объемы продувки и, соответственно, потери тепла, чем при продувке по общему солесодержанию.

Современные автоматические системы непрерывной продувки предназначены для продувки по общему солесодержанию. Принцип действия системы основан на измерении электропроводимости воды в котле, по которой можно судить об общем солесодержании.

Контроллер получает сигнал от датчика, определяет значение проводимости и сравнивает ее с заданным значением, которое определено пользователем и внесено в память контроллера продувок. Если измеренное значение больше заданного, регулирующий продувочный клапан открывается и остается открытым до тех пор, пока не будет достигнуто заданное значение. Как правило, пользователь может также отрегулировать «зону нечувствительности» системы, чтобы она не срабатывала часто и без оснований. Такие системы позволяют поддерживать среднее значение солесодержания котловой воды на уровне близком к максимальному и тем самым снижать количество продувочной воды до минимума.

Рис. 1. Типичная система непрерывной верхней продувки котла по общему солесодержанию



Автоматическими системами непрерывной продувки по общему солесодержанию могут оснащаться и жаротрубные, и водотрубные котлы, однако из-за относительно небольшого объема воды в паровом

барабане, вспенивание которой недопустимо даже в малых количествах, водотрубные котлы более чувствительны к повышенной щелочности котловой воды. Таким образом, при организации автоматической системы продувки по общему солесодержанию котловой воды в водотрубных котлах необходимо с особым вниманием относиться к контролю щелочности на этапе водоподготовки.