

## ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ДЛЯ ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ

Высоцкий С.П., Фаткулина А.В.  
(АДИ ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка)

*Рассмотрены основные параметры обработки воды для оборотных систем. Показано, что применение известкования воды и процессов осаждения в тонкослойных отстойниках с присадкой песка является основными технологиями кондиционирования воды для оборотных систем.*

На большинстве предприятий энергетики практически повсеместно применяется многократное использование воды в циркуляционных системах охлаждения. Надежность и экономичность работы оборотных систем водоснабжения определяется в основном качеством воды, циркулирующей в этих системах. Так, например, на ТЭС, работающих с подпиткой в оборотные системы воды с повышенной жесткостью, возникают проблемы агрессивного воздействия минерализованной воды на строительные сооружения и металлические конструкционные материалы, а также накипеобразования в конденсаторах турбин и на оросителях градирен.

Типичным загрязнением является гидрокарбонат кальция. При этом интенсивность роста загрязнений при отсутствии мероприятий по кондиционированию циркуляционной воды настолько высока, что приходится выполнять дорогостоящие мероприятия по очистке трубок конденсаторов химическими способами или применять физико-химические и механические способы предотвращения загрязнений: гидроимпульсный, электромагнитный, ультразвуковой и др.

При отводе тепла от теплообменников очень важно, чтобы коэффициент загрязнения находился на наиболее низком уровне. Из таблицы 1 видно, что при увеличении толщины отложений резко возрастает потребление энергии, что увеличивает текущие эксплуатационные затраты.

По мере накопления отложений снижается расход воды через теплообменники, в результате чего снижается эффективность работы оборудования, а также возникает необходимость в дополнительном обслуживании либо преждевременной замене отдельных элементов.

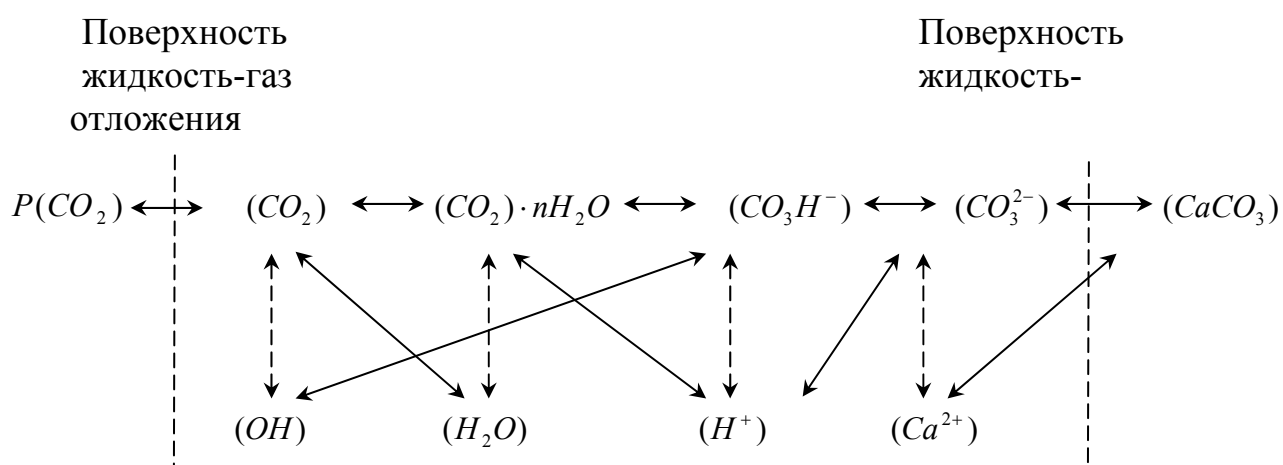
Для оценки влияния концентрации отдельных составляющих ионного состава раствора рассмотрим равновесие в циркуляционной системе углекислота – бикарбонаты и карбонаты.

**Таблица 1**

Изменение энергозатрат и коэффициента теплопередачи в зависимости от толщины накипи.

Толщина отложений, мм	Коэф-т теплопередачи, $Вт/м^2 \cdot ^\circ K$	Увеличение энергозатрат, %
0,15	4184	5,3
0,30	1730	10,6
0,60	862	21,5
0,90	578	32,2
1,20	433	43,0

Многообразие химических процессов, протекающих в циркуляционной системе, затрудняет оценку кинетических характеристик, определяющих скорость выпадения карбоната кальция. Схему процессов карбонатно-кальциевого равновесия можно представить в следующем виде:



**Рис. 1. Диаграмма равновесия разных модификаций карбоната кальция**

Изменение содержания углекислоты в системе вследствие повышения температуры и перехода  $CO_2$  в газовую фазу сопровождается тремя стадиями перестройки равновесия в системе: 1)  $CO_2$  переходит к поверхности раздела жидкость-газ (изменение ионного равновесия в жидкой фазе, которое сопровождается изменением pH, концентрации  $CO_3^{2-}$  и  $HCO_3^-$ ); 2) в жидкой фазе создается пересыщение по карбонату кальция; 3) кристаллизация карбоната кальция из жидкости на твер-

дой поверхности, приводящая к возникновению отложений. При этом стадия 3 реакции протекает с высокой интенсивностью в зонах наибольшего изменения равновесия в системе и турбулизации потока в конденсаторах и градирне.

При выборе схемы обработки воды в осветлителе основным показателем эффективности является минимизация отложений карбоната кальция в циркуляционной системе. Учитывая то, что растворимость карбоната кальция определяется произведением растворимости, постоянным для данной температуры, очевидно, что основным показателем выбора схемы является минимизация произведения концентрации ионов  $(Ca^{2+}) \cdot (CO_3^{2-})$ .

При поступлении в циркуляционную систему осветленной воды с гидратной щелочностью последняя, взаимодействуя с бикарбонат-ионами, переходит в карбонатную, что также увеличивает произведение концентраций осадкообразующих ионов. Поэтому для снижения затрат на подкисление воды и для уменьшения накипеобразования в обработанной воде после осветлителя необходимо минимизировать произведение концентраций  $(Ca^{2+}) \cdot (CO_3^{2-} + OH^-)$ .

Метод борьбы с накипеобразованием в циркуляционной системе снижением только кальциевой карбонатной жесткости является некорректным. Например, имеется возможность получения низкой кальциевой карбонатной жесткости в обработанной воде после осветлителя за счет повышенного избытка карбонат-ионов, однако при этом обработанная вода будет создавать значительное накипеобразование в конденсаторах.

При выборе метода обработки циркуляционной воды важно иметь показатель, характеризующий интенсивность накипеобразования.

Минимальное количество отложений соединений кальция в циркуляционной системе обеспечивается при доле воды, обрабатываемой в осветлителе для случая обработки циркуляционной воды:

$$\alpha = \frac{(C_0 - PC)}{(C - C_{01})}$$

а при обработке подпиточной воды:

$$\alpha = \frac{(C_0 - PC)}{(C_0 - C_{01})},$$

где  $C_{01}$  – содержание компонента в осветленной воде, мг-экв/кг;  
 $C_0$ ,  $C$  – содержание компонента, соответственно, в подпиточной и циркуляционной воде, мг-экв/кг;

$P$  – доля продувки системы от расхода подпиточной воды.

Используя эксплуатационные данные Зуевской ТЭС по содержанию карбонатной кальциевой жесткости в циркуляционной системе, подпиточной воде и очищенной после осветлителя воде, получаем, что при обработке подпиточной воды (вместо циркуляционной) при одинаковом количестве обрабатываемой воды ( $\alpha = 0,5 \cdot Q_0$ ) количество карбонатной жесткости, выпадающей в циркуляционной системе, снижается в 1,56 раза.

При сравнении с условиями без обработки воды количество отложений соединений кальция в циркуляционной системе снижается в 2,0-2,4 раза. Увеличение доли обрабатываемой воды резко увеличивает эффективность обработки, особенно при обработке подпиточной воды. Так, при  $\alpha = 0,8 \cdot Q_0$  количество карбонатной жесткости, выпадающей в циркуляционной системе при обработке циркуляционной воды, снижается в 2,35 раза, а при обработке подпиточной воды – в 8,75 раза.

Для выбора оптимальной схемы обработки воды рационально ввести параметр, характеризующий эффективность удаления из подпиточной воды осадкообразующих ионов, т.е. своеобразный КПД процесса очистки:

$$\eta = \frac{Ca_0 \cdot Щ_0 - Ca_{обр} \cdot (CO_3^{2-} + OH^-)_{обр}}{Ca_0 \cdot Щ_0},$$

где  $Ca_0$  и  $Ca_{обр}$  – кальциевая жесткость исходной и обработанной воды, мг-экв/кг;  $Щ_0$  – щелочность исходной воды, мг-экв/кг;  $CO_3^{2-}$ ,  $OH^-$  – карбонатная и гидратная щелочность осветленной воды, мг-экв/кг.

При обработке воды известью минимальное значение параметра  $(Ca^{2+}) \cdot (CO_3^{2-} + OH^-)$  в обработанной воде достигается при избытке гидратной щелочности обработанной воды 0,15 мг-экв/кг. Для кальциевой жесткости и щелочности исходной воды, соответственно, 5-7 мг-экв/кг и 5,7-6,5 мг-экв/кг минимальная остаточная кальциевая жесткость обработанной воды 3,5 мг-экв/кг обеспечивается при чисто карбонатном режиме обработки (при гидратной щелочности равной 0). Максимальная эффективность снижения параметра  $(Ca^{2+}) \cdot (CO_3^{2-} + OH^-)$  в процессе известкования воды указанного выше качества – 0,94.

При обработке воды содой и известью кальциевая жесткость обработанной воды снижается в 7 раз по сравнению с режимом обработки только известью. При этом избыток карбонатных ионов составляет 2,1 мг-экв/кг. Параметр  $(Ca^{2+}) \cdot (CO_3^{2-} + OH^-)$  при обработке воды содой и известью снижается в 2,6 раза по сравнению с режимом обработки только известью. Однако параметр  $\eta$  повышается только на 4%.

Таким образом, применение только известкования может обеспечить такой же эффект удаления осадкообразующих ионов при повышении производительности осветлителя всего на 5-10 % по сравнению с содоизвесткованием. Учитывая дефицит и высокую стоимость кальцинированной соды (по сравнению с известью), а также то, что её производство связано с существенным загрязнением окружающей среды, применение соды для обработки воды, направленной на подпитку циркуляционной системы, является нецелесообразным.

Для предотвращения отложений указанных загрязнений обычно предусматривается пропуск воды через отстойники с длительным временем выдержки. Однако, как показывает практика, такое решение является недостаточным. Во многих случаях по зарубежному опыту требуется установка фильтров для механической фильтрации подпиточной воды.

Дальнейшим совершенствованием технологии обработки воды для оборотных циклов явилась разработка процесса “Aktiflo” (технология обработки воды с рециркуляцией шлама и песка).

Сравнительные характеристики процессов коагуляции воды приведены в табл.2.

Применение указанной технологии позволило значительно повысить удельную производительность оборудования. Так в мировой практике существует несколько установок, производительность которых превышает 340000 м<sup>3</sup>/час (Франция, Китай, Канада и др.).

**Таблица 2**

**Основные параметры процесса очистки воды**

Параметры	Вода	Сточные воды	Традиц. методы
	~ 100 мкм	~ 150 мкм	-
Длительность коагуляции	8-10 мин.	3-5 мин.	20-40 мин.
Длительность процесса	10-12 мин.	5-6 мин.	1-4 час
Нагрузка	50-100 м/час	100-200 м/час	1-10 м/час
Номинальная производительность линии	40-10.000 м <sup>3</sup> /час	40-20.000 м <sup>3</sup> /час	

Описанная технология позволяет применять ее для очистки больших объемов обрабатываемой воды: в оборотных циклах энергетических и химических предприятий, в больших плавательных бассейнах и пр.

Повышение эффективности эксплуатации систем оборотного водоснабжения достигается также путем присадки диспергантов.