

установки:

- pH оборотной и подпиточной воды 7,3 – 8,3;
- щелочность оборотной и подпиточной воды 1,6 – 2,6 мг-экв/л;
- концентрация кальция в оборотной и подпиточной воде 2,4 – 3,4 мг-экв/л;
- расход оборотной воды 0,16 – 0,24 л/мин;

Вторую серию экспериментов проводили при включенном антинакипном аппарате. Плотность катодного тока в этих экспериментах составляла 2,6 – 3,0 А/м<sup>2</sup>. Она достигалась за счет подачи на электроды постоянного напряжения, равного 2,65 – 2,7 В. Температурный режим работы установки в этой серии экспериментов соответствовал температурному режиму ее работы предыдущей серии.

В процессе работы контролировали pH, щелочность оборотной воды и содержание в ней кальция – один раз в день; расход оборотной воды и горячего

теплоносителя, их температуры на входе и выходе из теплообменника – 1 раз в час. Для каждого часа работы установки определяли коэффициент теплопередачи от горячего теплоносителя к оборотной воде. Полученные значения усредняли и получали среднее за день значение коэффициента теплопередачи.

Полученные данные приведены на рис. 2, который отражает динамику изменения коэффициента теплопередачи в процессе работы водооборотного цикла без стабилизационной обработки оборотной воды и с обработкой электрическим полем. Из этого рисунка видно, что без стабилизационной обработки оборотной воды наблюдается более значительное снижение значения коэффициента теплопередачи во время работы ВОЦ, чем при стабилизационной обработке оборотной воды электрическим полем. Из этого же рисунка видно, что обработ-

ка оборотной воды электрическим полем не приводит к существенному снижению значения коэффициента теплопередачи в течение всего периода работы водооборотного цикла. Следовательно, в трубках теплообменника не происходит отложений солей жесткости.

К такому же выводу привело определение скорости отложений карбоната кальция на поверхности образцов из нержавеющей стали. Установлено, что за время контакта с водой, равное 98 часам, увеличения их массы практически нет.

Подтверждается ранее сделанный вывод, что обработка оборотной воды электрическим полем является эффективным способом защиты теплообменного оборудования от отложений минеральных солей в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапотошкина Н.П.Б Сазонов Р.П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей. – М.: Энергоиздат, 1982. – 200 с.
2. Костриkin Ю.М., Мещерский Н.А., Коровина О.В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления. - М.: Энергоатомиздат, 1990.- 254 с.
3. Сапожникова Ф.Х., Соснина Л.И., Ушаков Г.В. Антинакипная электрическая обработка воды. Человек и окружающая среда. Сб. научн. тр. Кузбас. политехн. ин-т. – Кемерово, 1987, с. 93 – 97.
4. Ушаков Г.В. Защита тепловых сетей от отложений накипи. Вестник Кузбасского государственного технического университета. Кемерово. Изд-во КузГТУ, 2000, № 1, с.57-60.
5. Неведров А.В., Ушаков Г.В. Сравнительный анализ физических методов обработки воды для уменьшения накипеобразования. Теплоэнергетика, 2003, №11, с. 62-64.
6. Неведров А.С., Ушаков Г.В., Трясунов Б.Г. Обработка воды электрическим полем для защиты поверхностей водогрейного оборудования от накипи. Вестн. Кузбасс. гос. технич. ун-та. Кемерово. 2002, №3, с. 66-68.

**УДК 621.182.12: 621.311.22**

**Г.В. Ушаков**

## АНТИНАКИПНОЙ АППАРАТ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ

Метод стабилизации оборотной воды в водооборотных циклах (ВОЦ) промышленных предприятий с использованием ингибиторов отложений имеет

ряд недостатков. Одним из них является использование реагентов, часто имеющих высокую стоимость и токсичность для водных биоценозов.

Для исключения воздействия ВОЦ, использующих ингибиторы, на природные водные объекты требуется полная герметизация этих систем, и их

эксплуатация в беспродувочном режиме с максимальным коэффициентом упаривания оборотной воды.

Полная герметизация системы ВОЦ требует прекращения потерь оборотной воды, связанных с их продувкой и производственных потерь оборотной воды в технологических корпусах. Решение последней задачи представляет значительные трудности, обусловленные необходимостью возврата в систему водяного охлаждения всех потоков оборотной воды, сбрасываемых в канализацию и замены оборотной воды, потребляемой в технологических процессах, на техническую (осветленную пресную) воду.

В ряде случаев производственные потери оборотной воды в технологических корпусах являются незначительными по сравнению с потерями на продувку ВОЦ. Следовательно, исключение этих потерь не окажет существенного влияния на баланс воды в системе водного охлаждения по сравнению с исключением продувки.

Исключение продувки водооборотного цикла с сохранением производственных потерь оборотной воды в технологических корпусах приведет к увеличению коэффициента упаривания оборотной воды до значений, близких к максимальному. В этих условиях оборотная вода потеряет свою стабильность, что приведет к интенсификации процессов отложения солей жесткости, протекающих в системе водяного охлаждения. Отсюда возникает задача снижения этих процессов в системах водяного охлаждения, работающих с продувкой и высоким коэффициентом упаривания оборотной воды.

В последнее время для решения данной задачи все большее применение стали находить методы безреагентной стабилизационной обработки оборотной воды физическими полями (магнитным, электрическим, ультразвуковым) [1–4]. Пре-

имуществом этих методов являются простота аппаратурного оформления и обслуживания, отсутствия дополнительного загрязнения оборотной воды. Поэтому, важным направлением в области создания бессточных систем оборотного водоснабжения является разработка и внедрение новых методов безреагентной стабилизационной обработки оборотной воды. К одному из таких методов можно отнести стабилизационную обработку оборотной воды постоянным электрическим полем [5–7]. Сущность метода основана на принципе коагуляции и осаждения карбоната кальция об-

ратной воды при прохождении ее через пространство анод-катод [5,8]. Карбонат кальция осаждается на поверхность отрицательного электрода.

Результаты проведенных исследований показали, что обработка оборотной воды постоянным электрическим током в бездиафрагменном антинакипном аппарате при плотности тока  $3\text{--}10 \text{ A/m}^2$  и гидравлической нагрузке до  $50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{ч}$  является эффективным способом предотвращения отложения солей жесткости на теплопередающих поверхностях [9–11]. Это позволило разработать исходные данные на проектирова-

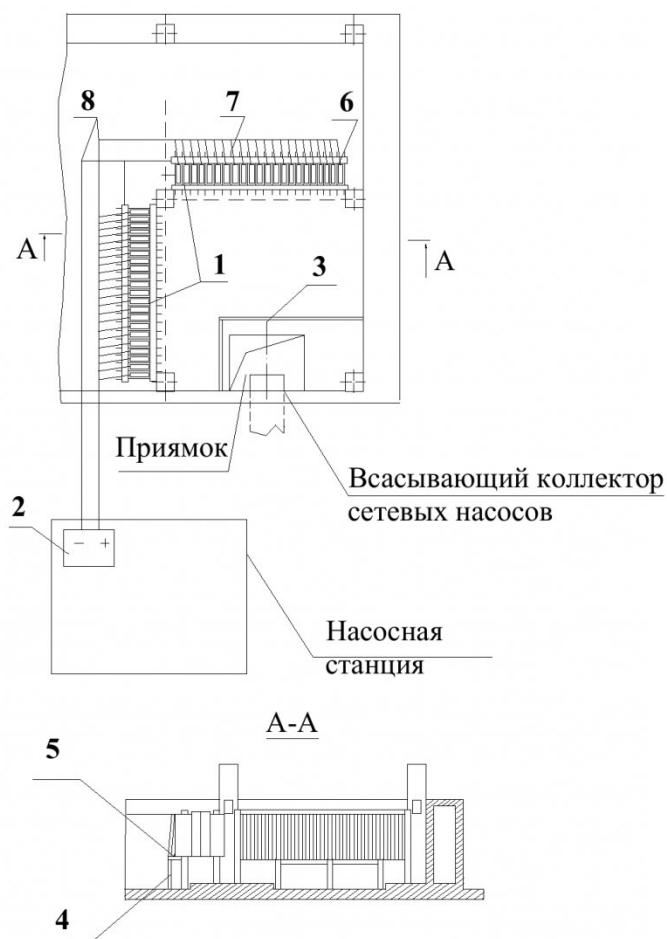


Схема антинакипного аппарата и его установки в чаше вентиляторной градирни

1 – антинакипные аппараты; источник постоянного электрического тока; 3 – перегородки отстойной зоны; 4 – перегородка в нижней зоне антинакипного аппарата; предохранительная сетка; 6 – аноды антинакипного аппарата; 7 – катоды антинакипного аппарата; 8 – провода подключения анодов и катодов к антинакипному аппарату

ние опытно-промышленной установки. По этим исходным данным был выполнен проект и разработаны конструкции и рабочие чертежи антинакипных аппаратов для башенных и вентиляторных градирен.

На рисунке приведена схема антинакипного аппарата и его размещение башенной градирне. Антинакипной аппарат 1 представляет собой систему из чередующихся угольных анодов 6 и металлических катодов 7, к которым подведено напряжение от источника постоянного тока 2, размещенного в помещении насосной станции. Катоды соединены между собой в электрическую цепь через корпус антинакипного аппарата, который выполнен из уголка. Аноды соединены между собой в электрическую цепь с помощью специальных шин 8. Электрическое поле в антинакипном аппарате создается путем подачи постоянного напряжения на электроды от источника постоянного тока, установленного в насосной станции.

Охлажденная оборотная вода проходит между электродами антинакипного аппарата, где под действием электрического поля протекают электрохимические процессы, приводящие к образованию мелкодисперсных частиц карбоната кальция и гидроксида магния, агрегации этих частиц в макрокристаллы и отложению последних на поверхности катодов 7. Затем вода проходит отстойную зону, которая образована перегородками 3, и поступает во всасывающий коллектор насосов охлажденной оборотной воды, которые расположены в помещении насосной станции. В отстойной зоне происходит осаждение частиц карбонатных отложений, которые под действием собственного веса ссыпаются с поверхностей катодов и осаждаются. Антинакипный аппарат снабжен перегородками 4, направляющими и весь поток воды в межэлектродное пространство, и сеткой 3, предохраняю-

щей аппараты от забивки досками и другими плавающими предметами.

Для проведения опытно-промышленных испытаний были изготовлены два антинакипных аппарата производительностью 3000 м<sup>3</sup>/ч, которые, были установлены в чашах градирен ВОЦ в соответствии со схемой, изображенной на рисунке. Водооборотный цикл, в котором осуществлялись опытно-промышленные испытания, имел производительность 6000 м<sup>3</sup>/ч по оборотной воде. В его состав входили две вентиляторные градирни производительностью по оборотной воде 3000 м<sup>3</sup>/ч каждая, насосная станция и трубопроводы для подачи охлажденной воды к теплообменному оборудованию и возврата нагретой воды для охлаждения в градирни.

До начала промышленного эксперимента и в течение всего периода работы антинакипных аппаратов контролировали: электрический режим работы

антинакипных аппаратов, вводно-химический режим работы ВОЦ, коррозионную активность оборотной воды ВОЦ, склонность оборотной воды к отложению солей жесткости ее электрическим полем. Водно-химический режим контролировали отбирая пробы оборотной воды отбирали непосредственно из чаши градирни. Аналитический контроль осуществляли по следующим ингредиентам: водородный показатель pH, общая щелочность, солесодержание (по сухому остатку), общая жесткость, содержание ионов кальция, магния, сульфат и хлорид-ионов, взвешенные вещества. Одновременно по тем же ингредиентам проводился аналитический контроль подпиточной воды.

Влияние антинакипных аппаратов поля на водно-химический режим работы ВОЦ цикла оценивали по изменению коэффициента концентрирования примесей в оборотной воде, который определяется по фор-

Таблица 1

Средние значения коэффициента концентрирования оборотной воды водооборотного цикла в период опытно-промышленных испытаний антинакипных аппаратов

Период работы ВОЦ	Средние значения коэффициента концентрирования в оборотной воде		
	Жесткость, мг-экв/л	Щелочность, мг-экв/л	Солесодержание, мг/л
До включения антинакипных аппаратов	1,32	1,12	1,48
После включения антинакипных аппаратов	1,12	1,13	1,09
Уменьшение коэффициента концентрирования после включения аппаратов, %	14,98	0,0	26,53

Таблица 2

Скорость отложения солей жесткости на образцах из углеродистой стали в оборотной воде ВОЦ

Время нахождения образцов в воде, ч	Скорость отложения солей жесткости г/(м <sup>2</sup> ·ч)		Снижение накипеобразования под действием электрического поля, %
	без антинакипных аппаратов	с антинакипными аппаратами	
500	0,86	0,52	39,6
700	0,70	0,41	40,1

мule:

$$K_i = \frac{C_{i_{об}}}{C_{i_{под}}},$$

где  $C_{i_{об}}$  и  $C_{i_{под}}$  – концентрация вещества  $i$ -го ингредиента в оборотной и подпиточной воде.

Средние за период опытно-промышленных испытаний значения коэффициентов концентрирования отдельных ингредиентов приведены в табл. 1, значения которой показывают в за счет работы антинакипных аппаратов произошло снижение жесткости оборотной воды на 15 % и солесодержания на 26,5 %. При этом значение щелочности оборотной воды практически не изменилось.

Склонность оборотной воды к отложению солей жесткости оценивали по изменению массы образцов из углеродистой стали, которые опускали в оборотную воду в чаше градирен. Образцы находились в чаше градирни 500 и 700 часов.

Затем их извлекали из воды, высушивали и взвешивали. По разности масс образцов до погружения в оборотную воду и после извлечения из чаши градирни определяли скорость отложения солей жесткости. Полученные данные приведены в табл.2.

На основании представленных данных сделаны следующие выводы:

1. Обработка оборотной воды электрическим полем интенсифицирует процессы кристаллизации карбоната кальция и гидроксида магния в межэлектродном пространстве антинакипного аппарата;

2. Кристаллизирующиеся в антинакипном аппарате карбонат кальция и гидроксид магния отлагаются на поверхностях катодов в виде рыхлого осадка;

3. В результате обработки оборотной воды электрическим полем в системе оборотного водоснабжения происходят следующие изменения:

- уменьшается жесткость и щелочность оборотной воды на 15 %;

- уменьшается скорость отложений солей жесткости на поверхностях оборудования из углеродистой стали на 39,6 – 40 %;

Таким образом, обработка оборотной воды электрическим полем является эффективным, экологически безопасным методом ее стабилизационной обработки. Внедрение этого метода позволяет эксплуатировать системы оборотного водоснабжения с высокими значениями коэффициентов упаривания оборотной воды, что дает возможность с минимальными эксплуатационными и капитальными затратами, существенно уменьшить потребление свежей воды на подпитку систем оборотного водоснабжения и сократить объем продувочных вод, сбрасываемых в канализацию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Silman Haraold. Магнитный и электростатический методы обработки воды. Magnetic and electrostatic methods of water treatment, 1990, 88, № 8, с.19–20.
2. HDL units provide solutions to scaling problems. Water and Waste Treat. (Gr. Brit.), 1992, 35, № 7, с. 31–33.
3. Дубровин В.Е., Шилин В.В. Экологически чистая ультразвуковая защита от накипи теплообменных аппаратов на предприятиях г. Москвы. / Науч.-практ. конф. «Решение экол. пробл. г. Москва», Москва, 14-16 дек. 1994: «Конверсия – городу», Москва, 14-16 дек., 1994: Тез. докл. – М., 1994. – с. 116.
4. Шадрина Л. А. Ультразвуковая защита от обрастания: состояние и перспективы с позиции экологии. Ин-т пробл. экологии и эволюции РАН. – М.: 1995 – 32 с. Деп в Винити 1.11.95, N2905-B95.
5. Найманов А.Я., Никиша С.Б. Антинакипные электрические аппараты в оборотном водоснабжении. Водоснабжение и санитарная техника. – 1984, №4, с. 22–23.
6. Никиша С.В. Противонакипная обработка воды в оборотном водоснабжении / Автореф. канд. дис. ВНИИВОДГЕО. – М., 1986. – 20 с.
7. Сапожникова Ф.Х., Соснина Л.И., Ушаков Г.В. Антинакипная электрическая обработка воды. Человек и окружающая среда /Сб. научн. тр. Кузбас. политехн. ин-т. – Кемерово, 1987, с. 93–97.
8. Брусаев В.П. Закономерности выделения веществ на теплопередающих поверхностях под действием термоэлектрических эффектов / Атомная энергия, 1971, №30, вып. 1, с. 27–29.
9. Неведров А.В., Ушаков Г.В. Сравнительный анализ физических методов обработки воды для уменьшения накипеобразования / Теплоэнергетика, 2003, №11, с. 62-64.
10. Неведров А.С., Ушаков Г.В., Трясунов Б.Г. Соловьев Г.А. Защита теплофикационного оборудования от накипи физическими полями / Вестн. КузГТУ. 2003, №1, с. 73-75.
11. Неведров А.С., Ушаков Г.В., Трясунов Б.Г. Обработка воды электрическим полем для защиты поверхностей водогрейного оборудования от накипи / Вестн. КузГТУ. 2002, №3, с. 66-68.

Автор статей:

Ушаков

Геннадий Викторович

- канд.техн.наук., доц. каф. химической технологии твердого топлива и экологии