

3. В тепловой сети есть два источника выделения накипи из воды: подпиточная вода, смешиваемая с оборотной сетевой водой и нагреваемая за счет этого, и сетевая вода после смешения с подпиточной водой, нагреваемая в водогрейном котле до требуемой температуры.

Расчетный метод определения пересыщения по карбонату кальция и гидроксиду магния в воде данного химического состава, нагретой до нужной температуры, заключается в нахождении производства активностей ионов этих соединений в растворе. Для этого требуется найти значение активностей ионов кальция и карбонат-ионов, используя известные (по результатам анализа) концентрации всех содержащихся в растворе ионов, оп-

ределить значения коэффициентов активностей этих ионов и ионную силу раствора, а также учесть процесс термического разложения бикарбонатов, происходящий при нагревании и увеличивающий содержание ионов CO_3^{2-} в нагретой воде.

Изложенный метод расчета пересыщения воды в процессе упаривания реализуется на ЭВМ. Однако в реальных условиях подготовки воды на испарительных установках процессы образования твердой фазы обычно не достигает равновесия. Поэтому следующим этапом в моделировании таких процессов должно быть определение кинетических закономерностей, связывающих пересыщение с интенсивностью накипеобразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапотышкина Н. П., Сазонов Р. П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей. – М.: Энергоиздат, 1982. 200 с.
2. Мартынова О.И., Васина Л.Г., Позднякова С.А., и др. Методика расчета состава соленых вод // Тр. Моск. энерг. ин-т. 1972. вып.123. С.121–129.
3. Мартынова О.И., Васина Л.Г., Богловский А.В. Моделирование процессов образования твердой фазы при упаривании воды. // Тр. МЭИ. 1979. № 405. С. 28–35.
4. Marshall W.L., Slucher E.U., Jonch E.U. Agucovs systems at high temperature. // J. Chem. Eng. Date. 1964. vol. 9. № 2. P. 137–191.
5. Наумов Г.Б., Рыженко Б.Н., Ходаковский И.Л. Справочник термодинамических величин. – М.: Атомиздат. 1971. С.201.
6. Saline water conversion Report. 1963. U.S. Department of the Interior, office of Saline Water. P. 487.
7. Jeatts Le R.B. and Marshall W.L. // The Journal of Physical Chemistry. V. 73. №1. 1969. P. 81.
8. Fruesdell A.H. and Jones M.A. Water, a computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters. // Journal research of the U.S Geological survey. 1974. V2. №2. P. 233–248.
9. Громогласов А.А., Копылов А.С., Пильщиков А.П. Водоподготовка: Процессы и аппараты. – М.: Энергоатомиздат. 1990. 272 с.
10. Рыженко Б.И. Определение констант диссоциации угольной кислоты и расчет степени гидролиза HCO_3^- и CO_3^{2-} ионов в растворах. // Геохимия. 1963. № 2. С.137–151.
11. Гаррельс М., Крайст Ч. Л. Растворы, минералы, равновесия. – М.: Мир. 1968. 368 С.

□Автор статьи:

Ушаков

Геннадий Викторович

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

КузГТУ.

Тел. 3842-36-32-85, ekosys@kuzbass.net.

УДК 621.182.12: 621.311.22

Г.В. Ушаков

АНТИНАКИПНЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВОДОГРЕЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ НАКИПИ И ВОПРОСЫ ИХ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Воздействие систем теплоснабжения на окружающую среду обусловлено тем, что в паровых и водогрейных котлах, водоподогревателях, обогревательных приборах в результате физико-химических процессов, протекающих в водной среде, на поверхностях нагрева образуются твер-

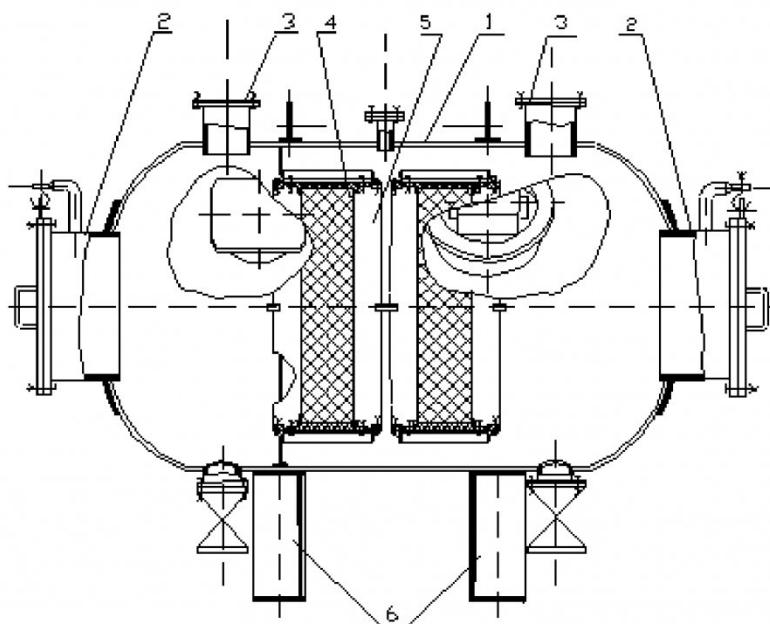
дые отложения накипи. Так как теплопроводность накипи мала, то ухудшаются процессы теплопередачи, особенно от сгорающего топлива (газа, мазута, угля) к воде. В результате возрастает расход топлива и увеличиваются выбросы вредных веществ в атмосферу и водоемы, количество твер-

Таблица 1.Основные параметры и размеры антинакипных аппаратов

Параметры и размеры	Производительность аппарата, м ³ /ч		
	100	300	400
Диаметр аппарата, мм	1000	1400	1600
Потребляемая мощность кВт			
Максимальное допустимое напряжение, подаваемое на электроды	24	24	24
Габариты: мм			
— длина	2070	4200	3600
— ширина	1300	1850	2570
— высота	1870	2380	2570
Масса аппарата, кг	1750	3100	3050

дых продуктов сгорания твердого топлива. Кроме того, металл труб под слоем накипи перегревается и деформируется, что может привести к аварийной остановке котла и возникновению чрезвычайной ситуации.

чительными эксплуатационными расходами, которые складываются из стоимости катионита, поваренной соли и затрат на содержание обслуживающего персонала. Кроме того, в процессе регенерации ионообменных смол образуются значи-

Рис. 1 Общий вид антинакипных аппаратов производительностью 300 – 400 м³/ч

1 – корпус с эллиптическими днищами; 2 – люк для чистки электродов; 3 – штуцер для ввода (вывода) воды; 4 – графитовый анод; 5 - металлический катод; 6 – опора

В настоящее время защита котлов и других тепловых агрегатов от накипи достигается, в основном, путем удаления ионов накипеобразователей (катионов кальция и магния) из подпиточной воды в установках химводоподготовки. Для этих целей на предприятиях теплоэнергетики широко используется умягчение воды. Натрионированием, которое осуществляется путем пропускания ее через слой зернистого катионита в натриевой форме. В результате ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} обмениваются на ионы натрия, присутствующие в катионите. Отработанный катионит регенерируют раствором поваренной соли.

Умягчение подпиточной воды связано со зна-

тельными количествами отработанных регенерационных растворов (до 10 % от объема воды, подвергнутой умягчению). Эти растворы содержат 5-7 %-ный раствор хлорида натрия с примесями ионов кальция и магния и для повторного использования непригодны.

Утилизация отработанных регенерационных растворов водоподготовительных установок требует значительных затрат, поэтому они сбрасываются в канализацию, а затем в природные водоемы, нанося существенный вред окружающей среде. По этим причинам на ряде котельных установки водоподготовки подпиточной воды либо вообще отсутствуют, либо работают неудовлетво-

рительно. В наибольшей степени это касается малых и средних котельных в сельской местности и рабочих поселках.

Для таких котельных перспективным, представляющим практический интерес, являются безреагентные методы защиты водогрейного оборудования от накипи с использованием физических полей – магнитного, ультразвукового и электрического [1-3].

Для промышленной реализации процесса обработки воды постоянным электрическим полем в системах теплоснабжения сетях нами разработаны антинакипные аппараты различной производительности [4, 5]. Все конструктивные решения, использованные при создании аппаратов, были унифицированы и создана серия, состоящая из четырех антинакипных аппаратов производительностью 100, 200 и 300 и 400 м³/ч. На эти аппараты

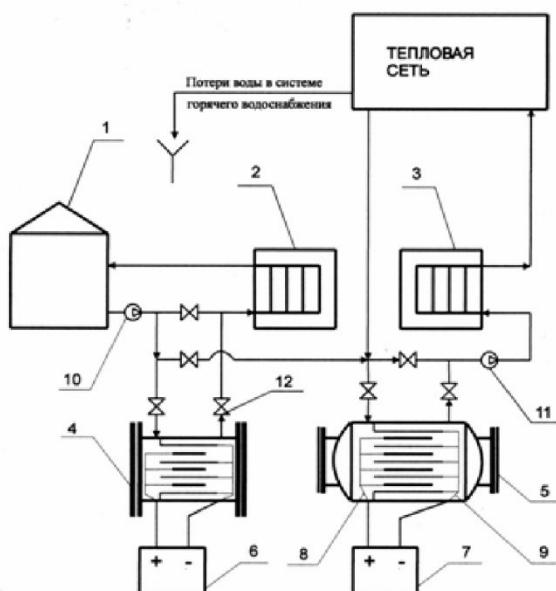


Рис. 2 Технологическая схема установки антинакипной обработки воды электрическим полем для водогрейной отопительной котельной

1 – буферная емкость подпиточной воды; 2 – котел для подогрева подпиточной воды; 3 – котел для подогрева сетевой воды; 4, 5 – антинакипные аппараты; 6, 7 – источники постоянного электрического тока; 8 – токоподводы к анодам из графита; 9 – токоподвод к катодам из металла; 10 – запорная арматура

разработаны технические условия. Основные параметры и размеры этих аппаратов приведены в табл. 1, а общий вид аппаратов производительностью 300 – 400 м³/ч – на рис. 1.

С использованием антинакипных аппаратов разработаны промышленные антинакипные установки стабилизационной обработки воды электрическим полем различной производительности по сетевой воде (от 100 до 700 м³/ч) для отопительных котельных. На рис. 2 приведена технологическая схема такой установки.

По данной схеме разработана проектно-техническая документация для ряда отопительных котельных Кемеровской области, Красноярского края (Туруханск, пос. Новоселово), Амурской области (г. Тында) и других областей РФ.

Опыт практической эксплуатации котельных, оснащенных установками антинакипной обработки воды постоянным электрическим полем и систем теплоснабжения жилых домов за период с 1985 года по настоящее время показал, что в результате антинакипной обработки сетевой воды постоянным электрическим полем достигаются следующие результаты [6, 7]:

1. Увеличивается срок службы котлов. В котельной пос. Кедровка до пуска установки антинакипной обработки воды котлы заменялись один раз в два года. С момента пуска установки антинакипной обработки воды в котлы замене не подвергались в течение 4-х и более лет.

2. Улучшаются условия работы тепловых магистралей и внутриквартальный сетей и уменьшается количество ремонтов теплосетей.

3. Сокращается расход реагентов на подготовку воды и уменьшается объем сточных вод. В котельной № 45 г. Кемерово до пуска в работу антинакипной установки подпитка тепловой сети осуществлялась водой после НА-катионитовых фильтров 1-ой ступени умягчения, имеющей жесткость 0,8 ммоль/дм³. После пуска установки в работу подпитка тепловой сети осуществляется неумягченной водой из реки Томи с жесткостью 1,8–2,2 мг-экв/л. В результате были достигнуты следующие технико-экономические и экологические результаты:

- уменьшилась нагрузка на НА-катионитовые фильтры первой ступени установки химводоподготовки на 70-100 м³/ч;

- сократился расход поваренной соли на регенерацию НА-катионитовых фильтров на 110 тонн в год;

- уменьшилось количество отработанных регенерационных солевых растворов, сбрасываемых в канализацию.

Антинакипные аппараты следует отнести к опасным производственным объектам по следующим признакам [8, 9]:

- в процессе электролиза воды, протекающего в антинакипном аппарате образуется водород, который образует взрывоопасную смесь с воздухом с нижним пределом взрываемости 4 % об.;

- тепловые сети, оснащенные антинакипными аппаратами, являются замкнутыми водными системами, работающими под давлением более 0,07 МПа.

Использование антинакипных аппаратов для стабилизационной обработки воды электрическим полем в водогрейных котельных и тепловых пунктах требует оценки их промышленной безопасности, связанной, в первую очередь, с выделением

водорода.

По объединенному закону Фарадея количество водорода, выделяющегося на катодах антинакипного аппарата в единицу времени равно

$$\Delta m = A_{\vartheta} I,$$

где Δm – масса водорода, выделяющегося в антинакипном аппарате, г/ч; A_{ϑ} – электрохимический эквивалент водорода, равный 0,0376 г/(А·ч), I – сила тока проходящего через антинакипный аппа-

ратах приведены в табл. 2.

Таким образом, процесс антинакипного аппарата сопровождается выделением на катодах газообразного водорода. В тепловых сетях с открытой водоразбором этот водород полностью растворим в сетевой воде при атмосферном давлении и не представляет опасности для эксплуатации аппарата [9]. Но, в определенных условиях водород может накапливаться в аппарате в количестве, превышающем его растворимость его раствори-

Таблица 2 . Результаты расчета количества водорода, выделяющегося в антинакипных аппаратах

Наименование показателей	Производительность аппарата, м ³ /ч		
	100	300	400
Суммарная площадь поверхностей анода, м ²	0,324	0,69	0,69
Сила тока через антинакипный аппарат, А:			
– плотность анодного тока, 5 А/м ² ;	16,2	34,5	41,4
– плотность анодного тока 10 А/м ² ;	32,4	69,0	82,8
– плотность анодного тока 15 А/м ²	48,6	103,5	124,2
Количество водорода, выделяющегося в антинакипном аппарате, г/ч:			
– плотность анодного тока, 5 А/м ² ;	0,61	1,30	1,56
– плотность анодного тока 10 А/м ² ;	1,22	2,59	3,11
– плотность анодного тока 15 А/м ²	1,83	3,89	4,67

рат, А.

Суммарный ток, проходящий через антинакипный аппарат равен:

$$I = i_k n F_k (N_k - 1),$$

где i_k – катодная плотность тока, А/м²; F_k – суммарная площадь поверхностей катода, м²; N_k – количество катодов в антинакипном аппарате; n – число электродных блоков в антинакипном аппарате.

Плотности катодного и анодного токов взаимосвязаны

$$i_k = i_a \frac{F_a}{F_k} = \frac{i_a}{n_F},$$

где F_a – суммарная поверхность анодов в антинакипном аппарате, м²; i_a – плотность анодного тока, А/м²; n_F – отношение площади катода к площади анода.

Исходные данные и результаты расчета количества водорода, выделяющегося в антинакипных

мость в воде. Тогда, при опорожнении антинакипного аппарата водород будет переходить из водной фазы в газовую и в объеме аппарата может образоваться взрывоопасная смесь водорода и воздуха.

Анализ вопроса промышленной безопасности эксплуатации антинакипных аппаратов показал, что такая ситуация возможна в двух случаях:

1. При эксплуатации аппарата в замкнутой системе теплоснабжения, когда ее подпитка составляет менее 3 % от расхода сетевой воды [10].

2. При прекращении подачи сетевой воды через антинакипный аппарат и не отключении от электрической сети источника постоянного тока, подающего напряжение на электроды аппарата [11].

Для избежания возникновения аварийных ситуаций, связанных с эксплуатацией антинакипных аппаратов, необходимо учитывать характер работы тепловых сетей (открытый или замкнутый), величину их подпитки, а также соблюдать правила эксплуатации этих аппаратов, обеспечивающих их промышленную безопасность [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков Г.В. Антинакипная обработка сетевой воды электрическим полем в тепловых сетях. // Теплоэнергетика. 2008. № 7. С. 35–35.
2. Ushakov G.V. Environmentally safe scale resist method to protect boiler and water heating equipment in heating system. // European Journal of Natural History. – London-Moskau. – 2007, №2. – P. 139–141.
3. Ушаков Г.В. Защита тепловых сетей от отложений накипи. Вестн. Кузбасс. гос. технич. ун-та. Кемерово. 2000, № 1, с.57-60.
4. Ушаков Г.В. Антинакипной аппарат для защиты систем оборотного водоснабжения от отложений

солей жесткости. – Вестн. Кузбас. гос. технич. ун-та. Кемерово. 2006, №6, с. 124–127 .

5. Ушаков Г.В. Антинакипной аппарат для защиты котельного и водогрейного оборудования от накипи. Химия IX век: новые технологии, новые продукты. Материалы IX Международной научно-практической конференции. – Кемерово, 16-19 мая 2006 г., с. 49 – 52.

6. Ушаков Г.В. Эффективность защиты котельного и водогрейного оборудования от накипи обработкой сетевой воды постоянным электрическим полем. Водохозяйственный комплекс России: состояние, проблемы, перспективы. Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: РИО ПГСХА, 2006, с. 155–158.

7. Ушаков Г.В. Внутрикотловая обработка воды электрическим полем – эффективный метод защиты котельного и водогрейного оборудования от накипи в системах теплоснабжения. Природные и интеллектуальная ресурсы Сибири. «СИБРЕСУРС -2006». Материалы XI Международной научно-практической конференции. – Кемерово, ГУ КузГТУ, 23-24 ноября 2006 г., с. 267 – 269.

8. Ушаков Г.В. Антинакипная обработка воды постоянным электрическим полем и вопросы промышленной безопасности. Сб. статей VII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – С. 192–193.

9. Ушаков Г.В. Промышленная безопасность антинакипных аппаратов в тепловых сетях с открытым водоразбором. Экология и безопасность жизнедеятельности. Сб. статей VI Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2006. – С. 145–147.

10. Ушаков Г.В. Безопасная работа антинакипных аппаратов в закрытых тепловых сетях. Сб. статей VII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – С. 189–191.

11. Ушаков Г.В. Безопасность антинакипного аппарата в процессе его опорожнения и вскрытия. Сб. статей VII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – С. 191–192.

12. Ушаков Г.В. Основные правила эксплуатации антинакипных аппаратов для обработки сетевой воды электрическим полем в водогрейных котельных. Природные и интеллектуальная ресурсы Сибири. «СИБРЕСУРС -2006». Материалы XI Международной научно-практической конференции. – Кемерово, ГУ КузГТУ, 23-24 ноября 2006 г, с. 271 – 273.

Автор статьи:

Ушаков

Геннадий Викторович

– канд. техн. наук, доц. каф. химической технологии твердого топлива и экологии КузГТУ.
Тел. 3842-36-32-85,
ekosys@kuzbass.net.