## Повышение эффективности и экологической безопасности установок антинакипной водоподготовки

**В водогрейном оборудовании систем теплоснабжения в результате физико-химических процессов, протекающих в водной среде:**

* На поверхностях нагрева образуются отложения накипи, которая снижает коэффициент теплопередачи.
* Следовательно, мощность, теплопроизводительность и эффективность работы теплофикационного оборудования снижается.
* Отложение накипи на поверхностях котлов вызывает перерасход топлива, увеличение продуктов сгорания топлива.
* Металл труб под слоем накипи перегревается и деформируется, что может привести к возникновению аварийных ситуаций.
* Кроме того, накипь отлагается на трубопроводах теплотрасс и вызывает ухудшение гидродинамического режима тепловых сетей [1].

Для предотвращения образовании накипи подпиточную воду из природных источников, используемую для восполнения потерь воды в системах теплоснабжении, подвергают предварительной антинакипной обработке.

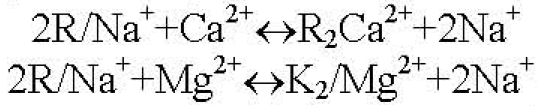
### Антинакипная подготовка с помощью катионирования

**В России в подавляющем большинстве случаев антинакипная обработка подпилочной воды осуществляется методом умягчения воды на ионообменных фильтрах [2], используют:**

* Натрий-катионирование.
* Водород-натрий-катионирование.

При Na-катионировании воду пропускают через слой катионита, находящегося в исходном состоянии в Na-форме.

**При этом процессе происходил удаление из воды ионов Са2+ и Mg2+ в обмен на эквивалентное количество ионов Na+ согласно следующим реакциям [3]:**

****

**где**

* R обозначает комплекс матрицы и функциональной группы без обменного иона (его принято считать одновалентным).

**Из приведенных реакций видно:**

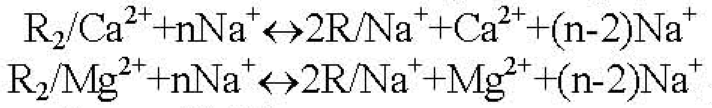
* Что анионный состав воды при Na-катионировании остается постоянным, поэтому и суммарная концентрация анионов, участвующих в этом процессе также остается постоянной [4].
* Однако массовая концентрация катионов в растворе несколько возрастает, поскольку эквивалентная масса иона натрия выше эквивалентных масс ионов кальция и магния.
* Так, при обмене ионов кальция на ионы натрия солесодержание воды возрастает в 46/40 раз, поскольку вместо одного сорбированного иона Са2+ в раствор поступают два иона Na+.
* Тот же пересчет при сорбции ионов магния даст увеличение солесодержания в 46/24 раза.

Таким образом, солесодержание Na-катионированной воды несколько выше солесодержания исходной. Поскольку при Na-катионировании не происходит изменения анионного состава примесей воды, щелочность ее не изменяется.

Остаточная жесткость фильтрата определяется условиями регенерации катионита и в лучшем случае составляет не более 5 мкг-экв/л.

Процесс умягчения при Na-катионировании заканчивается при допустимом значении жесткости фильтрата или при наступлении проскока жесткости.

**Регенерация истощенного катионита производится пропусканием через него раствора поваренной соли. Реакцию регенерации катионита раствором NaCI можно записать в следующей форме:**



**где**

* n - избыток NaCI против его стехиометрического количества.

**Так как для регенерации используются технические реагенты, содержащие посторонние примеси (в нашем случае Са2+ и Mg2+), то получаем:**

* Что хорошо отрегенерировать фильтр не удается.
* Кроме того, качество регенерации существенно зависит от проявлении так называемого противоиоиного эффекта.
* При ограниченном расходе соли на регенерацию лучше будут отрегенерированны участки слоя катионита, встречающиеся со свежим раствором.
* По мере прохождения раствора вглубь слоя условии регенерации будут ухудшаться вследствие повышения концентрации ионов Са2+ и Mg2+ в регенерационном растворе и его обеднении по ионам Na+.

Это явление носит название противоионного эффекта, поэтому такой эффект возникает в процессе умягчения исходной воды.

**В России для загрузки ионообменных фильтров водоподготовительных установок предприятий тепловой энергетики ежегодно приобретается:**

* 6-7 тыс.т отечественных ионообменных смол.
* 2,2-2,8 тыс.т импортных ионообменных смол.

**Для регенерации фильтрующей загрузки ионообменных фильтров предприятий тепловой энергетики в год расходуется около:**

* 240 тыс.т поваренной соли.
* 150 тыс.т серной кислоты.
* 80 тыс.т едкого натра [2].

Поскольку эксплуатационные расходы реагентов на регенерацию ионитов в 2-4 раза превышают стехиометрическое количество, большая часть этих реагентов в виде жидких стоков оказывается в прилегающих поверхностных водоемах, оказывает вредное воздействие на них, ухудшает экологическую обстановку, повышает экологическую опасность водоподготовительных установок.

Известные методы решения проблемы отработанных регенерационных растворов требует больших капитальных и эксплуатационных затрат.

### Антинакипная подготовка с помощью электрического поля

**Анализ научно-технической литературы показал, что безреагентные методы антинакипной водоподготовки бывают по способу воздействия на сетевую воду:**

* Магнитным.
* Ультразвуковым.
* Электрическим полем.

**Данные методы не требуют:**

* Громоздких сооружений.
* Наличия химических лабораторий контроля состава сетевой воды.
* И самое главное не используют химические реагенты.

В результате исключается образование неутилизируемых отходов и сточных вод, а как следствие этого загрязнение водоемов. Все это в конечном счете повышает экологическую безопасность предприятий тепловой энергетики.

Среди безреагентных методов антинакипной водоподготовки наибольшую степень защиты водогрейного оборудования от накипи обеспечивает обработка воды электрическим полем [1].

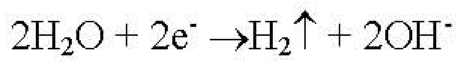
**Сущность метода заключается:**

* В выделении из циркуляционной воды микрокристаллов накипеобразующих веществ при пропускании воды между электродами, на которые подается постоянный электрический ток.
* Базируется метод электрообработки на представлениях об электрохимическом механизме осаждении накипи на теплопередающие поверхности.
* Считают, что горячая поверхность теплообменника и охлаждающая ее вода приобретают под действием разности температур электрическую разность потенциалов термо-ЭДС.
* Под ее воздействием и происходит преимущественное осаждение заряженных частиц накипеобразующих веществ на поверхность теплообмена.

Снижение накипеобразования при электрообработке воды объясняется тем, что укрупнение накипеобразующих частиц резко уменьшает их способность к адгезии на стенках теплообменников.

Процесс коагуляции протекает под действием продуктов электролиза воды, количество которых пропорционально дозе электричества.

**Основной реакцией на катоде является разложение воды с выделением газообразного водорода и ионов гидроксила:**



При этом в прикатодном пространстве происходят следующие взаимодействия [5].

**Гидроксильных анионов с катионами магния с образованием малорастворимого гидроксида магния:**



**Гидроксильных анионов с бикарбонат- ионами с образованием С032-:**



**Взаимодействие карбонат-аниона с катионом кальция с образованием практически нерастворимого карбоната кальция:**



Конечным результатом всех этих процессов является удаление из воды некоторого количества катионов кальция и магния путем перевода их в малорастворимые соединения и выделения из водной фазы в твердом виде.

В лабораторных условиях были проведены исследования влияния обработки воды электрическим полем на уменьшение накипеобразования на поверхности водогрейного оборудования в системах теплоснабжения.

**Исследования проводились на артезианской воде, имеющей следующие характеристики:**

* Общая жесткость - 6,2 мг-экв/л.
* Содержание катионов кальция - 4,1 мг-экв/л.
* pH воды - 8,2.
* Количество подпиточной воды составляло 20 % сетевой.
* Плотность электрического тока изменялась в интервале от 7 до 28 А/м2.

При проведении эксперимента через определенные промежутки времени весовым методом определялось количество накипи, отложившейся на поверхности нагревательного элемента при каждом способе обработки воды.

**Полученные результаты представлены на рисунке 1:**

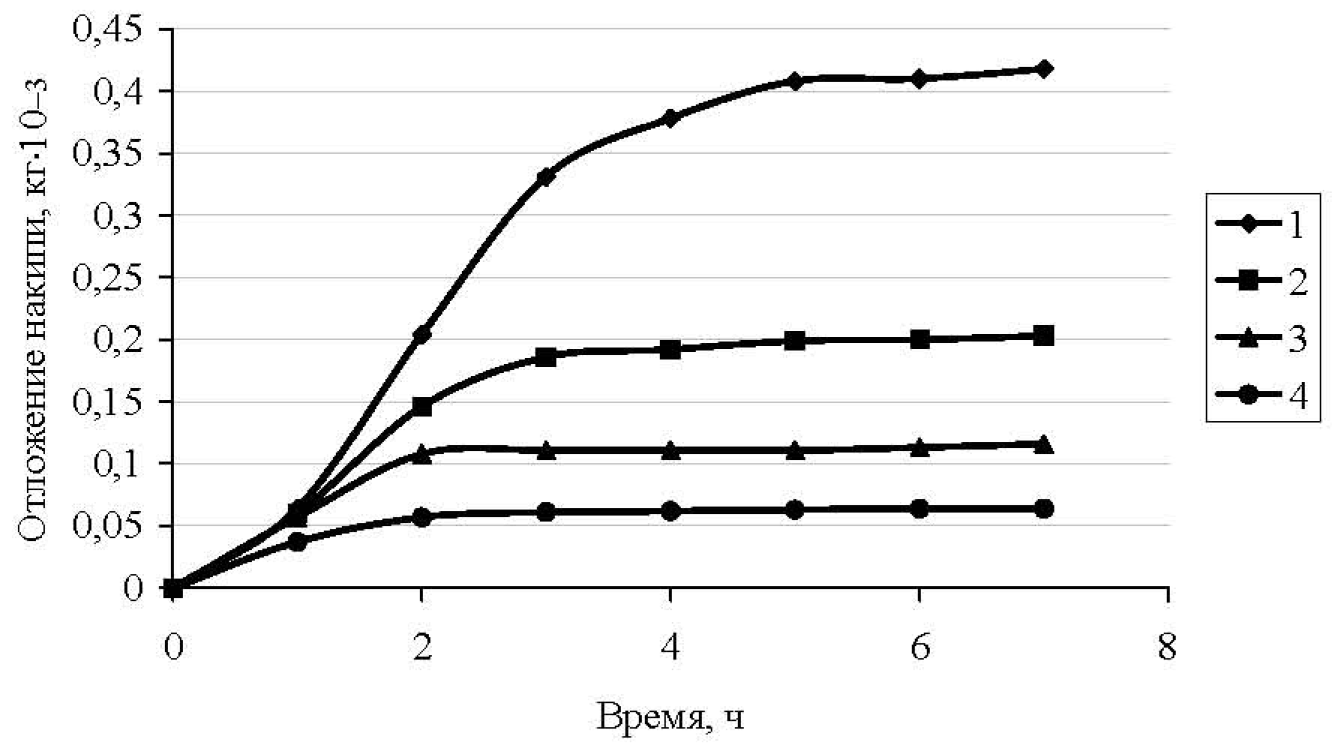


Рисунок 1 – Отложение накипи на нагревательном элементе при обработке воды электрическим полем

**где**

* 1 - без обработки воды электрическим полем (контрольный опыт).
* 2, 3, 4 - с обработкой воды электрическим полем при плотностях тока соответственно 1, 14, 28 А/м2.

На основании полученных экспериментальных данных в дальнейшем определялся противонакипный эффект обработки воды электрическим полем.

**Полученные результаты представлены в таблице 1:**



Таблица 1 – Противонакипный эффект обработки воды электрическим полем

Очевидно, что с увеличением плотности тока возрастает противонакипный эффект обработки воды электрическим полем.

Учитывая тот факт, что при обработке воды электрическим полем и ионообменном умягчении воды механизм воздействия на частицы накипеобразователей отличается, в дальнейшем были проведены исследования по изучению совместной антинакипной обработки воды этими методами.

**Исследовании проводились на воде, имеющей те же характеристики, что и при изучении воздействия на накипеобразование обработки воды электрическим полем:**

* Сначала были изучены периоды работы Na-катионитовых фильтров до момента достижения жесткости умягченной воды значения 0,7 мг-экв/л без учета предварительной обработки исходной подпиточной воды электрическим полем.
* Линейная скорость движения подпиточной воды через колонку с Na-катионитовым фильтром равнялась 15 м/ч.
* Затем изучалась эффективность работы Na-катионитовых фильтров с учетом предварительной обработки подпилочной воды в антинакипном аппарате электрическим полем при плотностях тока от 7 до 28 А/м2.
* В ходе эксперимента фиксировалось время достижения жесткости умягченной воды значения 0,7 мг-экв/л.

**Полученные результаты представлены в таблице 2:**

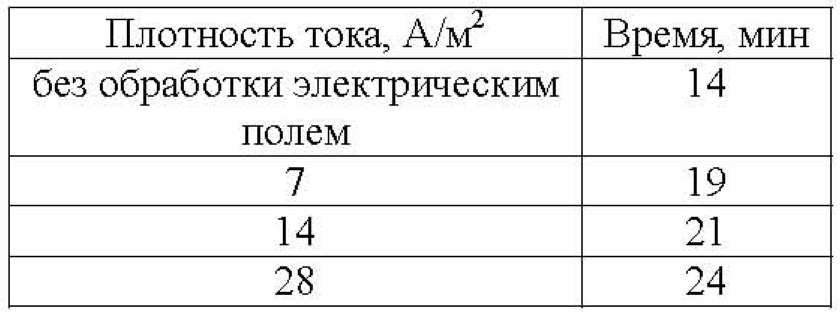


Таблица 2 – Период достижения жесткости умягченной воды значения 0,7 мг-экв/л при разных плотностях тока

**Отсюда следует:**

* Что предварительная обработка подпиточной воды электрическим полем способствует увеличению времени работы ионообменных фильтров без регенерации, а, следовательно, и количество умягченной ими воды будет увеличиваться.
* Причем, чем больше значение плотности электрического тока, тем большее время ионообменный фильтр может работать без регенерации, а значит, тем меньше потребуется реагентов на их регенерацию, что приведет к сокращению объема вредных сточных вод от установок антинакипной водоподготовки.
* Максимальное увеличение времени работы ионообменных фильтров без регенерации достигается при плотности тока 28 А/м2 и составляет 71,5 %.

**Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено:**

* Что предварительная обработка подпиточной воды электрическим полем в системах антинакипной водоподготовки с использованием ионообменных фильтров позволяет увеличить межрегенерационный период работы фильтров.
* С увеличением плотности тока межрегенерационный период возрастает.

**Совместная антинакипная обработка подпиточной воды электрическим полем и на ионообменных фильтрах позволит:**

* Повысить эффективность водоподготовительных установок.
* Сократить расход реагентов на регенерацию фильтров.
* Уменьшить объем загрязненных сточных вод, сбрасываемых в водоемы.
* Повысить экологическую безопасность предприятий тепловой энергетики в целом.

### Список литературы

1. Сравнительный анализ физических методов обработки воды для уменьшения накипеобразования / А.В. Неведров, Г.В. Ушаков // Теплоэнергетика. 2003. -№ 11. - С. 62-64.
2. Юрчевский, Е.Б. Современное отечественное водоподготовительное оборудование для обессоливания и умягчения воды на ТЭС // Теплоэнергетика. 2002. - № 3. С. - 62-67.
3. Копылов, А.С. Водоподготовка в энергетике: Учебное пособие / Под ред. В.М. Лавыгина, В.Ф. Очкова. - М.: Издательство МЭИ, 2003. - 356 с.
4. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей / Н.П. Лапотышкина, Р.П. Сазонов. - М.: Энергоиздат, 1982. - 289 с.
5. Ушаков Г.В. Антинакипная обработка сетевой воды электрическим полем в тепловых сетях // Теплоэнергетика. 2008. - № 7. - С. 32-35.

Источник: Повышение эффективности и экологической безопасности установок антинакипной водоподготовки / А.В. Неведров, А.В. Папин, Г.В. Ушаков // Вестник КузГТУ. - 2012. - №1. - C. 45-48.