

УДК 628.16:621.18

Н.К. Мартынова, канд. техн. наук

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

ВЫБОР ЭКОЛОГИЧНОГО И ЭКОНОМИЧНОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ОБЪЕКТАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Природная вода представляет собой сложную многокомпонентную динамическую систему, в состав которой входят различные соли, органические вещества, газы, диспергированные примеси и взвешенные вещества (глинистые, песчаные, гипсовые и известковые частицы), гидробионты (планктон, бентос, нейстон), бактерии, вирусы, а также в растворенном состоянии в воде находятся минеральные соли, обогащающие воду ионами, их источниками являются природные залежи известняков, гипсов и доломитов.

Жесткость воды обусловлена наличием в ней солей кальция и магния, которые поступают в воду из омываемых ею грунтов. Соли кальция и магния образуют твердые отложения (накипь, шлам, водный камень) на поверхности котлов и теплообменников, что снижает экономичность их работы. Накипь обладает малой теплопроводностью, и ее наличие на нагревательных элементах обуславливает увеличение энергозатрат.

Увеличение толщины слоя накипи от 0,5 до 5 мм приводит к перерасходу топлива от 10 до 30 %.

Вредное влияние накипи заключается также в повышении температуры стенки водогрейной (дымогарной или жаровой) трубы. В таблице приведена зависимость температуры стенки водогрейной экранной трубы, размещенной в топочном пространстве (температура 1100 °С), от толщины слоя накипи для различных величин теплопроводности накипи.

Увеличение слоя накипи на поверхности нагрева котла со стороны воды существенно повышает температуру стенки водогрейных труб, а повышение температуры, в свою очередь, приводит к снижению как предела прочности металла, так и предела его текучести. При этом образуются свищи и происходит разрыв тр.

Все это приводит к необходимости проведения ремонтных работ, замены трубопроводов и оборудования и требует значительных вложений денежных средств.

На рис. 1 представлена фотография трубы теплообменника с накипными отложениями на внутренней поверхности, проработавшей непродолжительное время без химической и магнитной обработки воды.

Существуют различные методы обработки воды, применяемые в энергетике. Указанные методы обладают различными достоинствами и недостатками [1].

При термическом методе воду нагревают до температуры выше 100 °С, при этом удаляется карбонатная и некарбонатная жесткости (в виде карбоната кальция, гидроксида магния и гипса). Недостатки метода: сложное оборудование, большой расход электроэнергии.

При реагентном методе в воду добавляют известь, устраняющую карбонатную и магниевую жесткость, а также соду, устраняющую некарбонатную жесткость. Недостатки метода: большой расход реагентов, сложное оборудование.

При электродиализе исходная вода фильтруется через полупроницаемую мембрану. Недостатки: большой расход электроэнергии, засорение мембран при обессоливании сильноминерализованных вод.

Один из традиционных способов умягчения воды, применяемых в малой энергетике, — использование ионообменных смол, когда ионы натрия, находящиеся в смоле, замещаются на ионы кальция и магния, растворенные в воде.

При регенерации катионитов получается большое количество сточных вод, содержащих различные соли и избыток регенерационного раствора (хлористого натрия или кислоты). Количество таких вод значительно, оно зависит от производительности химводоочистки и качества исходной воды.

Мероприятия по переработке сточных вод по сравнению с водоочисткой обычно сложные и дорогие: испарение стоков с эвакуацией сухих солей, применение сложной электрохимической пе-

Зависимость температуры стенки водогрейной экранной трубы

Коэффициент теплопроводности, Ккал/(м·ч), град	Температура стенки трубы, °С				
	Толщина слоя накипи, мм				
	1	2	3	4	5
0,1	720	870	970	990	1000
0,2	600	720	820	910	920
0,3	450	540	650	700	730
1,0	370	430	500	580	600
2,0	300	380	400	450	480



Рис. 1. Накипные отложения на внутренней поверхности трубы теплообменника

реработки стоков с возвратом воды и получаемых при этом реагентов в цикл. В маловодных районах сброс солей от водоочистки может заметно повлиять на солевой состав источников воды.

Метод озono-сорбционной очистки воды основан на том, что атомарный кислород уничтожает бактерии, споры, вирусы, разрушает растворенные в воде органические вещества. Озонирование воды в сочетании с фильтрацией позволяет осуществлять окисление и удаление из воды сложных органоминеральных комплексов металлов Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ag^+ , Co^{2+} и др. Приведенные в работах [2, 3] данные показывают эффективность озono-сорбционной технологии очистки воды, а разработанные установки обеспечивают хорошие органолептические показатели воды, насыщают ее кислородом, очищают от соединений железа, марганца, органических веществ и микробиологических загрязнений. Однако при озонировании минеральный состав, жесткость, щелочность остаются неизменными, что является недостатком этого метода.

По сравнению с вышеприведенными методами магнитная обработка более проста, безопасна и экономична. Обработанная магнитным способом вода не приобретает никаких побочных, вредных для здоровья человека свойств и не меняет солевой состав, сохраняя вкусовые качества питьевой воды, не требуется расход химических реагентов.

Обработка воды в магнитном поле распространена для борьбы с накипеобразованием [4]. Сущность метода состоит в том, что при пересечении водой магнитных силовых линий накипеобразователи выделяются не на поверхности нагрева, а в массе воды. Образующиеся рыхлые осадки (шлам) удаляют при продувке. Метод эффективен при обработке вод кальциево-карбонатного класса, которые составляют около 80% вод всех водоемов нашей страны и охватывают примерно 85% ее территории.

Обработка воды магнитным полем получила широкое применение для борьбы с накипеобразованием в конденсаторах паровых турбин, в парогенераторах низкого давления и малой производительности, в тепловых сетях и сетях горячего водоснабжения и различных теплообменных аппаратах, где применение других методов обработки воды экономически нецелесообразно. По сравнению с вышеуказанными методами обработки воды основными преимуществами магнитной обработки являются простота, дешевизна, безопасность и почти полное отсутствие эксплуатационных расходов.

Принцип работы устройства для магнитной обработки заключается в предотвращении образования накипных отложений $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$ на нагревательной поверхности за счет изменения в воде ее электропроводности, коллоидно-химического состояния, под действием магнитных полей, сконфигурированных особым образом. В результате обработки в потоке воды образуются центры кристаллизации (затравки). Это самопроизвольное выделение — один из эффективных способов предотвращения образования твердых отложений кальция и магния. Далее процесс интенсифицируется. На затравочных кристаллах образуются дополнительные места кристаллизации (сцепления) молекул солей кальция и магния. Образованные агрегатные структуры остаются во взвешенном мелкодисперсном состоянии и вымываются потоком воды. Рост кристаллов особенно наглядно проявляется при нагреве воды. При этом вода слегка мутнеет. Это обусловлено тем, что, медленно разрастаясь, кристаллы начинают рассеивать свет. Максимально их величина может достигать лишь тысячной доли миллиметра, что не дает им возможности образовывать твердые отложения в виде осадка и накипи. Обработанная таким образом вода сохраняет максимальный антинакипный эффект в течение 10...24 ч.

Имеются предположения о каталитическом действии магнитной обработки на закисную форму железа Fe^{2+} . Вода, прошедшая магнитную обработку и дополнительно обработанная угольным фильтром, не содержит Fe^{2+} и концентрации на выходе с установки по окисному железу Fe^{3+} снижены более чем в 3 раза. Хотя при прочих равных условиях исходная вода не подвергалась процессу обезжелезивания. Наряду с этим магнитная обработка способствует активации процессов адсорбции различных примесей органического происхождения. Магнитная обработка также влияет на электрокинетический потенциал и агрегативную устойчивость взвешенных частиц, благодаря чему ускоряет их осаждение, т. е. способствует извлечению из воды разного рода взвесей.

Механизм воздействия магнитного поля на воду и ее примеси окончательно не выяснен, имеется ряд гипотез, которые Е.Ф. Тебенихи-

ным [5] классифицированы на три группы: первая, объединяющая большинство гипотез, связывает действие магнитного поля на ионы солей, растворенных в воде. Под влиянием магнитного поля происходят поляризация и деформация ионов, сопровождающиеся уменьшением их гидратации, повышающей вероятность их сближения, и в конечном итоге образование центров кристаллизации; вторая предполагает действие магнитного поля на коллоидные примеси воды; третья группа объединяет представления о возможном влиянии магнитного поля на структуру воды. Это влияние, с одной стороны, может вызвать изменения в агрегации молекул воды, с другой — нарушить ориентацию ядерных спинов водорода в ее молекулах.

В.И. Классен [6] подразделяет имеющиеся на этот счет гипотезы на три основные группы: коллоидные, ионные и водяные.

Предполагается, что магнитное поле, действуя на воду, может разрушать содержащиеся в ней коллоидные частицы: «осколки» образуют центры кристаллизации примесей, ускоряя их удаление. Наличие ионов железа интенсифицирует появление зародышей кристаллизации, что приводит к образованию непрочного осадка, выпадающего в виде шлама.

Вторая гипотеза объясняет действие магнитного поля наличием ионов в воде, считая, что поле оказывает особое влияние на гидратацию ионов, т. е. на возникновение вокруг них гидратных оболочек, состоящих из молекул воды с несколько измененной подвижностью. Чем больше и устойчивее такая оболочка, тем труднее ионам сближаться или оседать в порах адсорбента. Получены экспериментальные данные в пользу «ионных» гипотез: обнаружено, что под влиянием магнитного поля происходит временная деформация гидратных оболочек ионов, изменяется их распределение в воде. Не исключено, что роль ионов при магнитной обработке воды может быть также связана с возникновением электрического тока или с пульсацией давления.

Третья гипотеза предполагает, что магнитное поле оказывает воздействие непосредственно на структуру ассоциатов воды. Это может привести к деформации водородных связей или перераспределению молекул воды во временных ассоциативных образованиях, что также влечет за собой изменение физико-химических характеристик протекающих в ней процессов.

Противонакипный эффект зависит от состава воды, напряженности магнитного поля, скорости движения воды и продолжительности ее пребывания в магнитном поле и от других факторов. На практике применяют магнитные аппараты с постоянными стальными или феррито-бариевыми магнитами и электромагнитами. Аппараты с постоянными магнитами конструктивно проще и не тре-

буют питания от электросети. В аппаратах с электромагнитом на сердечник (кern) наматываются катушки проволоки, создающие магнитное поле.

Магнитный аппарат монтируется к трубопроводам в вертикальном или горизонтальном положении с помощью переходных муфт. Скорость движения воды в зазоре не должна превышать 1 м/с. Процесс работы аппаратов может сопровождаться загрязнением проходного зазора механическими главным образом ферромагнитными примесями. Поэтому аппараты с постоянными магнитами необходимо периодически разбирать и чистить. Оксиды железа из аппаратов с электромагнитными удаляют, отключив их от сети.

При проектировании магнитных аппаратов для обработки воды задаются такие данные: тип аппарата, его производительность, индукция магнитного поля в рабочем зазоре или соответствующая ей напряженность магнитного поля, скорость воды в рабочем зазоре, время прохождения водой активной зоны аппарата, род и его напряжение для электромагнитного аппарата или магнитный сплав и размеры магнита для аппаратов с постоянными магнитами.

Магнитные аппараты должны иметь широкий диапазон магнитной напряженности в рабочем зазоре, легко настраиваться на воду любого качества и быть надежны в эксплуатации.

Электромагнитный аппарат для противонакипной обработки воды, обладающий этими качествами, подробно описан в работе [4].

В последнее время также получили распространение аппараты с внешними намагничивающими катушками. Для омагничивания больших масс воды созданы аппараты с послонной ее обработкой.

Вариант схемы установки для магнитной обработки добавочной питательной воды отопительных паровых котлов приведен на рис. 2.

Помимо предотвращения накипеобразования магнитная обработка может применяться для интенсификации процесса коагуляции и кристаллизации, ускорения растворения реагентов, повышения эффективности использования ионообменных

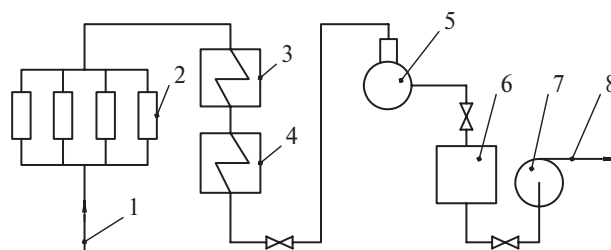


Рис. 2. Вариант схемы размещения магнитной установки для обработки котловой воды без предварительной очистки:

- 1 — исходная вода; 2 — электромагнитные аппараты;
3, 4 — подогреватели I и II ступени; 5 — деаэрактор;
6 — промежуточный бак; 7 — подпиточный насос;
8 — подпиточная вода

смола, улучшения бактерицидного действия дезинфектантов.

Закон об охране окружающей среды № 7-ФЗ от 10.01.2002 считает первоочередным вопрос о защите водоемов от загрязненных стоков, при этом важными показателями при оценке схем водоподготовки является количество и состав сбрасываемых вод, возможность их сброса в открытые водоемы без очистки и способы очистки. В связи с этим можно сделать вывод, что применение магнитной обработки воды в малой энергетике является экологически и экономически оправданным.

Список литературы

1. Водоподготовка: справочник / Под ред. С.Е. Беликова. — М.: Аква-Терм, 2007. — 240 с.

2. Очистка воды для технологических и бытовых целей на предприятиях сельскохозяйственного производства / В.П. Коваленко, Е.А. Улюкина, В.Б. Бабко, Е.Н. Пирогов, Ш.А. Давлетьяров // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия. — 2008. — № 4 (29). — С. 33–36.

3. Гусев С.С., Улюкина Е.А., Михальский Л.Л. Водоподготовка на объектах агропромышленного комплекса // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия. — 2012. — № 3 (54). — С. 19–22.

4. Лапотышкина Н.П., Сазонов Р.П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей. — М.: Энергоиздат, 1982. — 200 с.

5. Тебенихин Е.Ф., Гусев Б.Т. Обработка воды магнитным полем в теплоэнергетике. — М.: Энергия, 1970. — 144 с.

6. Классен В.И. Вода и магнит. — М.: Наука, 1973. — 120 с.

УДК 621.013; 621.928; 622.74

Ю.Г. Чурин, канд. техн. наук

Костромская государственная сельскохозяйственная академия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПО КРУПНОСТИ НА СЕПАРАТОРАХ ВИБРАЦИОННОГО ТИПА

В работе [1] представлена методика определения эффективности процесса сепарации на промышленных сепараторах вибрационного типа (виброгрохотах). Недостатком этой методики является необходимость выполнения большого объема вычислений.

Для устранения этого недостатка рассматривают процесс сепарации как непрерывный процесс проникновения гранул нижнего класса, входящих в сортируемую сыпучую смесь, через разделительную (просеивающую) поверхность рабочего органа сепаратора, что вполне допустимо, если в этом процессе участвует достаточно большое число гранул (что и имеет место на практике использования промышленных сепараторов).

Необходимо обозначить следующее:

Q_0 — объемное количество материала, поступившее на рабочий орган сепаратора в начальный момент времени;

Q — количество материала, прошедшее через рабочий орган за время t ;

$Q_H = \gamma_0 Q_0$ — количество материала нижнего класса, содержащееся в исходном объеме Q_0 ;

γ_0 — относительное содержание гранул нижнего класса в исходном материале.

В качестве исходного пункта данного исследования примем гипотезу: выход сортируемой мас-

сы (количество материала, проходящее за единицу времени через просеивающую поверхность) прямо пропорционален количеству материала нижнего класса над просеивающей поверхностью и обратно пропорционален количеству всего материала над просеивающей поверхностью в данный момент времени.

Это положение описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dQ}{dt} = a \frac{Q_H - Q}{Q_0 - Q}, \quad (1)$$

где a — коэффициент пропорциональности.

Разделяя переменные и интегрируя, получим

$$Q - (Q_0 - Q_H) \ln(Q_H - Q) = at + C. \quad (2)$$

Постоянную интегрирования найдем из начальных условий: при $t = 0$, $Q = 0$;

$$C = -(Q_0 - Q_H) \ln Q_H.$$

Частное решение, удовлетворяющее этим начальным условиям:

$$\gamma_0 \frac{Q}{Q_H} - (1 - \gamma_0) \ln \left(1 - \frac{Q}{Q_H} \right) = a \frac{t}{Q_0}.$$

Если $t = T$, где T — время цикла сортировки (среднее время пребывания единицы объема сы-