



УДК 628.33

Захватов Г.И. – доктор технических наук, профессор

E-mail: avtel@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Опытное определение противонакипного эффекта при магнитодинамической обработке воды

Аннотация

Исследования противонакипного эффекта при магнитодинамической обработке проводилось в натуральных условиях с использованием модели тепловой установки. Изучалась связь эффективности воздействия магнитного поля при различных значениях магнитной напряженности. Испытания проводились, как на лабораторном стенде, так и в системе горячего водоснабжения. В обоих случаях установлена однозначная связь с изменением основных компонентов углекислотного равновесия. В частности, снижение концентрации ионов кальция после магнитодинамической обработки свидетельствовало об эффективности воздействия магнитного поля и наоборот. Это подтверждает тот факт, что магнитодинамическая противонакипная обработка не всегда эффективна. Тем самым устанавливается критерий определения возможности использования магнитодинамической обработки.

Ключевые слова: магнитодинамическая обработка воды, антинакипный эффект, углекислотное равновесие воды.

Противонакипная магнитодинамическая обработка воды исследовалась как в теоретическом, так и в практическом плане [1-7]. Однако не дано однозначного объяснения, почему в ряде случаев эффективность обработки не достигается. Было целесообразно проверить предложенный нами критерий определения эффективности магнитодинамической обработки [8], при проведении натуральных исследований.

Главной причиной отсутствия стабильных результатов при внедрении противонакипной магнитодинамической обработки является практическое отсутствие методов определения эффективности процесса. Существующие методы оценки являются по своему характеру чисто лабораторными и часто базируются на неправильных теоретических предположениях. На основании проведенных нами исследований, подтвержденных практическими результатами и другими методами, было показано, что на базе анализа углекислотного равновесия воды можно заключить о той или иной эффективности (или неэффективности противонакипной магнитодинамической обработки). Существующая в любой воде, взаимосвязанная система типа $\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- = \text{CaCO}_3 + \text{H}^+$ и $\text{Ca}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{H}^+ = \text{CaCO}_3 + \text{HCO}_3^- + 4\text{H}^+$, в большинстве случаев, является неравновесной, поскольку на равновесие влияет не только приведенный ионный и молекулярный состав, но и сопутствующие ионы (в частности Mg^{2+}), а также физические параметры: температура, давление наличие примесей и т.д. Поэтому равновесие постоянно смещается от некоторого устойчивого состояния. Важно отметить, что в конечном итоге на характер нахождения кальция в воде, являющегося основным накипеобразующим элементом (в сочетании с карбонат-ионами) влияют на активность ионов бикарбоната – HCO_3^- и содержание углекислого газа CO_2 ; причем последний часто характеризуется как угольная кислота, ввиду хорошей растворимости углекислого газа в воде с образованием слабой угольной кислоты. Естественно, как вытекает из приведенных выше реакций, на процесс влияет концентрация ионов водорода в воде; при этом, с увеличением pH (уменьшением концентрации H^+ – ионов) процесс сдвигается вправо, что приводит, в конечном итоге, к образованию нерастворимой фазы CaCO_3 . При наличии избытка (по сравнению с равновесным значением) CO_2 – наличие, так называемой, «агрессивной» угольной кислоты, процесс может идти, как в сторону образования растворимого бикарбоната кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, так и растворимого CaCO_3 . Однако образование CaCO_3 идет значительно более медленно,

поскольку данный процесс идет как следствие первого, и возникает, в основном, при повышенных температурах, в частности, в зоне нагрева. Как было установлено, магнитодинамическая обработка в оптимальных условиях может смещать всю систему в сторону равновесия; при этом, если в системе равновесие сдвинуто влево от устойчивого состояния, то процесс пойдет вправо, в сторону образования микрокристаллов CaCO_3 . Образование множества первичных кристаллов CaCO_3 в объеме воды при эффективной магнитодинамической обработке приводит к тому, что при их попадании в зону нагрева происходит быстрый рост этих кристаллов (инициаторов кристаллизации), в результате чего образуется шлам в объеме воды, удаляемой из зоны нагрева вместе с водой. При отсутствии первичных кристалликов образование CaCO_3 происходит в результате термического распада $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и образования CaCO_3 на стенках нагревательных аппаратов (и охлаждающих систем), что приводит к накипеобразованию.

Очевидно, что при большом избытке CO_2 равновесие может быть сдвинуто только вправо, т.е. образование первичных кристалликов CaCO_3 здесь невозможно. Это, в частности, является причиной отдельных неудач, при внедрении магнитодинамического метода. Разумеется, на эффективность процесса влияют и сами условия магнитодинамической обработки (конструкция аппарата, напряженность поля, скорость потока и некоторые другие). Важно отметить, что независимо от этого можно определить условия процесса по данным химического анализа основных компонентов углекислотного равновесия воды. При этом, очевидно, чем больше сдвиг вправо, тем более эффективен процесс (здесь рассматривается основная реакция: $\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- = \text{CaCO}_3 + \text{H}^+$, ответственная за образование центров кристаллизации CaCO_3). Таким образом, по изменению содержания, прежде всего, ионов $\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^-$ и общей жесткости можно судить об эффективности магнитодинамической обработки. Это обеспечивает относительно быстрое определение противонакипного эффекта. Данным методом широко пользовались при выполнении исследований.

Для подтверждения полученных выводов был применен стенд для натуральных испытаний. Основным элементом стенда являлся кольцевой нагреватель с двумя внутренними каналами для прохождения воды: один канал служил для пропуска обработанной воды, другой канал (контрольный) служил эталоном сравнения, так как через него пропусклась необработанная вода. Термические условия в обоих каналах идентичны, благодаря чему можно сравнивать степень отложения накипи в обоих каналах. Снятие слоя накипи со стенок каналов по истечении времени испытаний осуществлялось слабым раствором соляной кислоты (1-2 %), что не затрагивало материал стенок: весь корпус нагревательного элемента выполнен нержавеющей стали. Последующий анализ воды на общую жесткость дает непосредственное заключение об эффективности процесса: что определяется сравнением данных анализа проб из обоих каналов. Выбор оптимального режима может быть сделан, исходя из анализа результатов, полученных при разных условиях обработки. Как показали исследования, результаты химического анализа компонентов углекислотного равновесия и натурные испытания, их данные полностью соответствуют друг другу. Для получения оптимального противонакипного эффекта очень существенное значение имеет конструкция магнитной установки. Как ранее было установлено, длительность магнитного воздействия является существенным фактором процесса, что не всегда достигается в используемых аппаратах. Кроме того, необходимо обеспечить относительно невысокое гидродинамическое сопротивление аппарата и обеспечить предотвращение зарастания или блокирования магнитного зазора (мехпримеси, окислы железа и т.д.). В существующих аппаратах это также является слабым местом. В связи с этим была использована собственная конструкция полностью лишенная указанных недостатков.

Установка выполнена в виде электромагнитной катушки с кольцевым зазором, образуемым насадочными кольцами. Водовод располагается в кольцеобразном зазоре в виде двух тороидаальных полуколец, объединенных на входе и выходе в одну несколько большего диаметра. Такая конструкция позволяет сочетать длительность магнитного воздействия с минимальным гидродинамическим сопротивлением, при отсутствии перекрытия канала механическими примесями. Питание к магнитному аппарату было

выполнено на базе тиристорного регулятора, на выходе которого дополнительно включен выпрямительный мост. Плавная регулировка выходного тока дополняется стабилизацией за счет обратной связи, а также защитой от перегрузки и коротких замыканий. Данные устройства прошли длительные испытания и показали высокую надежность.

На базе выполненных исследований были изготовлены 2 комплекта (установка плюс блок питания). Один из этих комплектов, производительностью 5 м³/ч был установлен на компрессорной станции предприятия. Другой, производительностью 25-30 м³/ч, на одной из печей (система охлаждения). Данные участки, как показали исследования, могут быть достаточно эффективно защищены от накипеобразования при условии настройки аппаратов на оптимальный режим. Пример такой настройки приведен ниже в табл. 1.

В табл. 1 проведены данные компонентного состава воды после магнитодинамической обработки и без обработки (данные приведены в скобка). Следует отметить, что система охлаждения печей входит в систему оборотного водоснабжения предприятия, поэтому результаты эксперимента могут относиться ко всей системе оборотного водоснабжения в целом. Следует также отметить что анализы компонентного состава воды (имеются в виду компоненты углекислотного равновесия воды) до и после магнитодинамической обработки производились неоднократно, и во всех случаях получены близкие результаты. Ниже, в табл. 1, приведены данные для одного случая из общего цикла. Результаты для других случаев не приведены, так как они не содержат существенно новой информации.

Таблица 1

**Характеристики процесса магнитодинамической обработки
на участке оборотной воды компрессорной станции**

Напряженность поля	Скорость потока	Общая жесткость	Содержание Са ²⁺	Содержание НО ₃ ⁻	Примечание
А м·1×10 ³	м·с ⁻¹	ед.	мг·л ⁻¹	мг·л ⁻¹	
3,2	1	15,7 (15,8)	190 (190)	175 (183)	В скобках – значение для воды без обработки
6,9	1	15,4 (15,8)	208 (190)	174 (183)	
11,2	1	15,8 (15,8)	206 (190)	195 (163)	
13,6	1	15,8 (15,8)	212 (190)	171 (183)	
3,2	2	106,0 (15,6)	192 (192)	183 (183)	
6,9	2	16,2 (15,)	200 (190)	171 (183)	
11,2	2	15,6 (15,6)	196 (196)	195 (183)	
13,6	2	15,6 (15,6)	206 (192)	171 (183)	
3,2	3	15,4 (16,0)	186 (190)	189 (207)	
6,9	3	15,2 (16,0)	180 (190)	183 (207)	
11,2	3	15,6 (16,0)	194 (190)	177 (207)	
13,6	3	16,0 (16,0)	204 (190)	183 (207)	

Как видно из результатов табл. 1, максимальная эффективность процесса достигается при скорости движения полтока в активной зоне 3 м/с. Это заключение обосновано подтверждаются снижением содержания Са²⁺ + НСО₃⁻ и общей жесткости. Такая относительно жесткая настройка может быть объяснена чрезвычайно сложным составом оборотной воды. Результаты натуральных испытаний подтвердили данное заключение.

К сожалению, не на всех исследованных участках наблюдался положительный эффект магнитодинамической обработки. Так испытания на станции горячего водоснабжения показали, что эффективность процесса здесь не достигается, см. например, данные табл. 2. Как видно из результатов табл. 2, эффективность процесса во всех случаях отсутствует. Наблюдается обратный сдвиг равновесия, что вызвано неблагоприятным составом воды на дано участке.

Натурные испытания на стенде подтвердили данное заключение. Попытка предварительного воздействия на компоненты углекислотного равновесия путем подпитки холодной воды горячей водой из бойлера с соответствующим подъемом температуры в пределах 4-10 °С не дало четких результатов (данные здесь не приводятся ввиду их явно неоднозначного характера). Это очевидно связано с очень сложным воздействием этого эффекта на всю физико-химическую характеристику данной воды. Это не означает, что на этом участке невозможно достигнуть эффективности процесса.

Намечены некоторые другие воздействия на воду с целью сдвига равновесия в нужную сторону; в частности – использование электрохимического воздействия; в этом направлении уже получены определенные положительные результаты.

Таблица 2

**Характеристика процесса магнитодинамической обработки оборотной воды
компрессорной станции**

Напряженность поля	Скорость потока	Общая жесткость	Содержание Ca^{2+}	Содержание NO_3^-	Примечание
$\text{А м}^{-1} \times 10^3$	м с^{-1}	ед.	мг л^{-1}	мг л^{-1}	
3,2	1	14,2 (14,6)	228 (220)	342 (348)	В скобках – значение для воды без обработки
6,9	1	15,4 (14,6)	224 (220)	372 (348)	
11,2	1	15,2 (14,6)	2226 (220)	353 (348)	
13,6	1	15,0 (14,0)	220 (220)	348 (348)	
3,2	2	16,0 (15,6)	192 (192)	183 (183)	
6,9	2	16,2 (15,6)	200 (190)	171 (183)	
11,2	2	15,6 (15,6)	196 (196)	195 (183)	
13,6	2	15,6 (15,6)	206 (192)	171 (183)	
3,2	3	15,4 (16,0)	186 (190)	189 (207)	
6,9	3	15,2 (16,0)	180 (190)	183 (207)	
11,2	3	15,6 (16,0)	194 (190)	177 (207)	
13,6	3	16,0 (16,0)	204 (190)	183 (207)	

В целом можно сделать следующие заключение: выполненные исследования показали, что для большинства участков, связанных с использованием оборотной воды для систем охлаждения процесс противонакипной магнитодинамической обработки может быть достаточно эффективен при правильной настройке аппарата на оптимальный режим. Для участка, где используется артезианская вода для питания бойлеров, этот процесс может быть неэффективен, как, например, на станции горячего водоснабжения. Однако при использовании результатов и на этих участках.

Выводы

1. Исследованы процессы противонакипной магнитодинамической обработки на нескольких объектах предприятия, связанных с использованием оборотной и подпиточной артезианской воды.
2. Установлено, что использование магнитодинамической обработки может быть эффективно для систем охлаждения при условии настройки аппарата на оптимальный режим.
3. Разработаны, изготовлены и пущены в эксплуатацию 2 установки комплектно с блоками управления и питания. Определены оптимальные параметры работы установок.
4. Подготовлены исходные данные для дальнейшего расширения объемов внедрения магнитодинамического метода с целью обеспечения безнакипной работы теплоустановок и систем охлаждения. Внедрение данной технологии обеспечит безаварийный режим работы теплоустановок и систем охлаждения, снизит энергию затраты до 10 % и выше при резком сокращении регламентных работ, связанных с чисткой установок, систем обвязки и замены вышедшего из строя оборудования.

Список библиотечных ссылок

1. Мусаев М.В., Шайдаков В.В. Обработка магнитным полем транспортируемой жидкости // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородов, 2008, № 3. – С. 8-9.
2. Шайдаков В.В., Урманчиев С.Ф. Магнитодинамическая коагуляция механических Примесей // Нефтепромысловое дело, 2009, № 2. – С. 134-138.
3. Коширадзе С.И., Левин Ю.К. Физическая модель снижения накипеобразования при магнитной обработке воды в теплоэнергетических устройствах // Теплоэнергетика, 2009, № 4. – С. 66-68.

4. Мосин О.В. Магнитные системы обработки воды. Основные. Перспективы. Направления // Сантехника, 2011, № 1. – С. 21-25.
5. Мосин О.В., Игнатов И.С. Структура воды и физическая реальность Основные перспективы и направления // Сантехника, 2011, Т. 16, № 9. – С. 16-32.
6. Lover S. Magnetic water treatment and pseudoscience // Chem. and Water systems Limited, 2009. – P. 5-11.
7. Chaplin M. Descaling of Water. Water Structure and Science, London South Bank University, Retrieved, 2012. – P. 3-26.
8. Захватов Г.И. Исследование магнитодинамического противонакипного эффекта // Известия КГАСУ, 2014, № 2 (28). – С. 164-172.

Zakhvatov G.I. – doctor of technical science, professor

E-mail: avtel@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The experimental definition of antifur effect for magnetodynamic treatment of water

Resume

It is described the natural experiments for definition of antifur effect far magnetodynamic treatment of water. The special laboratory stent was used far quantity value of fur forming. The magnetodynamic supplies were established in different parts of water system. The results of experiments showed, that antifur effect may be reach, when so named aggressive carbon acid is absent. If carbon acid balance shifted in the side deficiency of free carbon acid, the antyfur effect is observed. The data is coordinate with carbon acid balance theory, described by us earlier. The influence of different factors on the process is described too. The supplies with long active zone was used in the experiments. The analysis of components for carbon acid balance may be used as the basis for definition possibility for using of antyfur magnetodynamic method, It is necessary to note, that a value of shift components of carbon acid balance after magnetodynamic treatment is small. However they are enough for correct definition the antyfur may be or be absent. The magnetic characteristic is not critical in wide region. The speed of moving water in active zone is more significant.

Keywords: magnetodynamic processing of water, antifur effect, carbon dioxide balance of water.

Reference list

1. Musaev M.V., Shaidarov V.V. The treatment by magnetic field for transporliquids // Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodov, 2008, № 3. – P. 8-9.
2. Shaidacov V.V., Urmancheev S.F. Magnnetodynamic coagulation of mechanical admixtures // Neftegazovoe delo, 2009, № 9. – P. 134-138.
3. Koshiradze S.I., Levim Y.K. Physical model of fur decreasing for magnetic treatment of water in the heat energetic supplies // Teploenergetika, 2009, №. 4. – P. 21-28.
4. Mosin M.V. The Magnetic systems of water treatment. Basic perspectives and directs // Santehnika, 2011, № 1. – P. 21-25.
5. Mosin M.V., Ignatov I.S. The water structure and physical reality // Santekhnika, 2011, № 9. – P. 16-32.
6. Lover S. Magnetic water treatment and pseudoscience // Chem. and Water systems Limited, 2009. – P. 5-11.
7. Chaplin M. Descaling of Water. Water Structure and Science, London South Bank University, Retrieved, 2012. – P. 3-26.
8. Zakhvatov G.I. The investigation of magnetodynamic antyfur effect // Izvestiya KGASU, 2014, № 2 (28). – P. 160-165.