

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ В СИСТЕМЕ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

РУНОВ Д.М.*, ЛАПТЕВ А.Г.**

*Татарский научно-исследовательский и проектный институт ОАО «Татнефть»
им. В.Д. Шашина, г. Бугульма

**Казанский государственный энергетический университет

В данной статье рассматривается электромагнитная обработка воды как один из безреагентных способов сокращения объёма накипи и увеличения эффективности охлаждения высокотемпературных газовых потоков. Приведены результаты промышленной эксплуатации прибора электромагнитной обработки воды (ПЭОВ) на одном из технологических циклов газоперерабатывающего завода, которые показали повышение эффективности подготовки газа за счет сокращения затрат энергии на прохождение воды через теплообменные аппараты.

Ключевые слова: накипь, электромагнитная обработка воды, термическое сопротивление, теплообменные аппараты, охлаждение, высокотемпературный газ.

Постановка задачи

Основной проблемой при использовании воды в промышленности является образование накипи. В свою очередь образование накипи ведет к нарушению технологических циклов промышленных предприятий, преждевременному выходу оборудования с теплопередающими поверхностями из строя, материальным затратам, связанных с очисткой этого оборудования от накипи. Особенно остро проблема образования накипи на теплопередающих поверхностях стоит перед предприятиями с системами оборотного водоснабжения. Одним из таких предприятий является газоперерабатывающий завод (ГПЗ) управления «Татнефтегазпереработка» Республики Татарстан. Система оборотного водоснабжения ГПЗ, предназначенная для обеспечения технической водой производственных объектов, включает две подсистемы завода, по которым осуществляется циркуляция технической воды.

Одним из таких технологических циклов ГПЗ является установка осушки и очистки газа от CO_2 (УООГ). Исходным сырьем установки является очищенный от механических примесей и капельной влаги нефтяной газ после компримирования. На данной установке производится осушка нефтяного газа от влаги и его очистка от углекислоты (CO_2). На установке применяются две ступени осушки газа в контакторах (осушителях).

Готовой продукцией установки является осушенный от влаги и очищенный от углекислоты нефтяной газ и жидкие углеводороды (компрессионный бензин). Осушенный и очищенный от углекислоты нефтяной газ, представляющий собой смесь предельных углеводородов: метана, этана, пропана, бутанов, пентанов и остальных компонентов: кислорода, азота, сероводорода – служит сырьем для УНТКР.

Группа теплообменных аппаратов и система оборотного водоснабжения предназначены для охлаждения газа регенерации и газа охлаждения после адсорберов. Подпитка оборотной системы осуществляется свежей водой реки Зай в количестве 90 тыс. м³ в месяц в летнее время, 50-60 тыс. м³ в месяц в зимнее время. Объем постоянно оборачиваемой пресной воды в двух системах составляет 16 тыс. м³, по 8 тыс. м³ в каждой системе. Вода реки Зай является пресной, показатели ее в течение года

© Д.М. Рунов, А.Г. Лаптев

Проблемы энергетики, 2015, № 1-2

меняются. В процессе упаривания пресной воды в системе оборотного водоснабжения ГПЗ содержание солей жесткости и общей минерализации возрастает (таблица).

Таблица

Физико-химический состав пресной воды с водозабора р. Зай и оборотной воды
(по данным института «ТатНИПИнефть»)

Наименование показателя	Значение показателя	
	Пресная вода с водозабора	Оборотная вода из системы оборотного водоснабжения
Водородный показатель pH	7,27-7,43	7,83-8,38
Плотность, кг/м ³	0,9994-0,9997	0,9999-1,000
Ионный состав, мг/дм ³ :		
Cl ⁻	351-355	510-568
HCO ₃ ⁻	311-342	451-525
SO ₄ ²⁻	133-172	183-272
Ca ²⁺	146-172	207-271
Mg ²⁺	53,2-62,0	92-96
K ⁺ +Na ⁺	126,5-140,3	177-205
Минерализация, мг/дм ³	1135-1229	1620-1935

После теплообменных аппаратов газ регенерации и газ охлаждения поочередно направляются в сепараторы для отделения воды и далее – на прием компрессоров.

Вследствие того, что процесс охлаждения высокотемпературных газовых потоков в теплообменных аппаратах сопровождается образованием накипи на теплопередающих поверхностях, из-за пересыщения оборотной воды по солям жесткости, и их недоохлаждением предусмотрена дополнительная осушка газа регенерации и газа охлаждения в осушителях для исключения уноса влаги во взвешенном состоянии. В этом случае потоки газа регенерации и газа охлаждения после осушителей повторно направляются на охлаждение в теплообменные аппараты.

Более эффективный отбор тепла от газа в теплообменных аппаратах позволит исключить технологические процессы, связанные с его дополнительным охлаждением, а значит снизить затраты на подготовку конечной продукции УООГ и повысить ее эффективность.

Разработка и монтаж ПЭОВ

Институтом «ТатНИПИнефть» и ОАО «КНИТИ ВТ» (г. Казань) разработан прибор электромагнитной обработки воды (далее ПЭОВ) [1] во взрывозащищенном исполнении, испытания которого были начаты в системе оборотного водоснабжения ГПЗ [2]. ПЭОВ смонтирован на общем подающем трубопроводе УООГ (рис. 1). По нему оборотная вода подается на группу теплообменных аппаратов. На рис. 1 показаны два теплообменных аппарата, в трубные пучки которых подается оборотная вода из общего подающего трубопровода. На первый (по ходу движения воды в общем подающем трубопроводе) – вода, прошедшая через электромагнитные волны, а на второй теплообменный аппарат подается вода без обработки. Для наглядности катушки-излучатели ПЭОВ изображены на подающей трубе первого теплообменного аппарата.

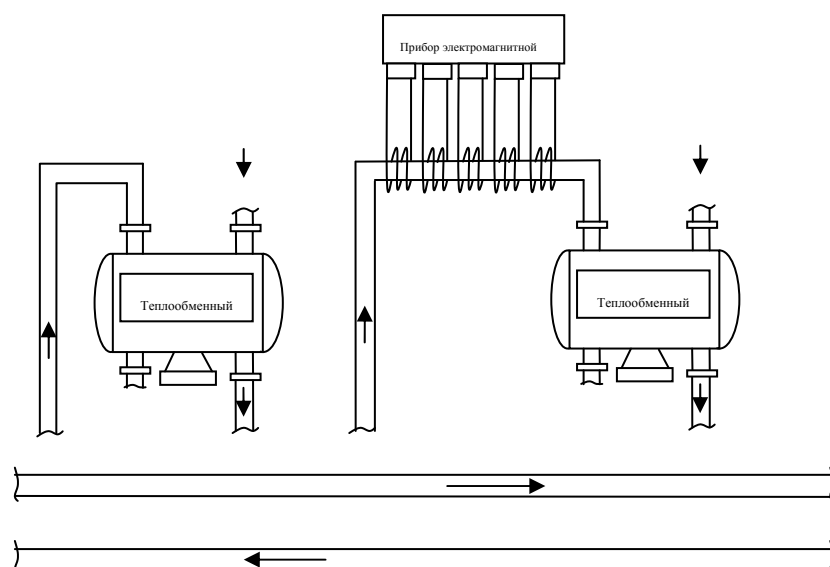


Рис. 1. Теплотехнологическая схема теплообменного аппарата с электромагнитной обработкой воды (ПЭОВ на общем подающем трубопроводе)

Определение повышения эффективности теплообменных аппаратов

Определение повышения эффективности теплообменных аппаратов за счет использования электромагнитной обработки воды производится по сравнению площадей оседающих частиц на экспериментальных пластинах, которые устанавливаются на входе и выходе воды из теплообменного аппарата, работающего поочередно в режимах с электромагнитным воздействием на воду и без него, а также по температурному режиму охлаждаемого газа (газ регенерации) на двух параллельно эксплуатируемых теплообменных аппаратах УООГ. Начальные условия для двух систем практически одинаковы – подаются вода и газ из одного источника. При этом на первый теплообменный аппарат, как и на всю группу теплообменных аппаратов УООГ, по общему трубопроводу подается обработанная вода, а второй теплообменный аппарат эксплуатируется без электромагнитной обработки подаваемой воды. Эксплуатация одного из теплообменных аппаратов УООГ производилась поочередно по 24 часа в режимах с электромагнитной обработкой (начальная стадия эксплуатации ПЭОВ) и без нее. На рис. 2 показаны изображения частиц (с увеличением в 300 раз) на исследуемых поверхностях экспериментальных стеклянных пластин площадью $12,93 \cdot 10^6 \text{ мкм}^2$, при эксплуатации теплообменного аппарата с электромагнитной обработкой воды).

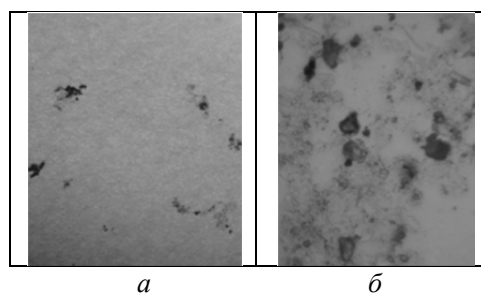


Рис. 2. Экспериментальные стеклянные пластины с осевшими частицами накипи на входе (а) и выходе (б) из теплообменного аппарата с электромагнитной обработкой воды (24 часа)

Площадь, занимаемая осевшими частицами на входе в теплообменный аппарат, $\Delta S_{\text{вх}}$ составила $0,17 \cdot 10^6 \mu\text{м}^2$, что соответствует $\delta_{\text{вх}} = 1,3\%$ от общей площади исследуемой поверхности. Площадь, занимаемая осевшими частицами на выходе из теплообменного аппарата, $\Delta S_{\text{вых}}$ составила $0,702 \cdot 10^6 \mu\text{м}^2$, что соответствует $\delta_{\text{вых}} = 5,4\%$ от общей площади исследуемой поверхности [3].

На рис. 3 показаны изображения частиц на входе в теплообменный аппарат и выходе из него при установке экспериментальных стеклянных пластин на сутки в режиме без электромагнитной обработки воды.

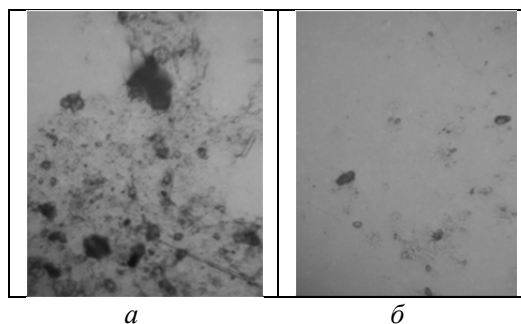


Рис. 3. Экспериментальные стеклянные пластины с осевшими частицами накипи на входе (а) и выходе (б) из теплообменного аппарата без электромагнитной обработкой воды (24 часа)

Площади исследуемых поверхностей на экспериментальных стеклянных пластинах также составляли $12,93 \cdot 10^6 \mu\text{м}^2$. Площадь поверхности, занимаемая осевшими частицами на входе в теплообменный аппарат, $\Delta S_{\text{вх}}$ составила $1,26 \cdot 10^6 \mu\text{м}^2$, что соответствует $\delta_{\text{вх}} = 9,7\%$ от общей площади исследуемой поверхности. Площадь поверхности, занимаемая осевшими частицами на выходе из теплообменного аппарата, $\Delta S_{\text{вых}}$ составила $0,13 \cdot 10^6 \mu\text{м}^2$, что соответствует $\delta_{\text{вых}} = 1\%$ от общей площади исследуемой поверхности.

Таким образом, проведенные исследования по сравнению площадей осевших частиц на экспериментальных стеклянных пластинах в режимах эксплуатации теплообменного аппарата с электромагнитной обработкой и без нее показали, что в результате воздействия переменным электромагнитным полем на воду происходит выпадение солей жесткости, т.е. процесс шламообразования, и разрушение существующих твердых отложений. Это подтверждено физико-химическим анализом мелкодисперсной суспензии – шлама, который показал, что суспензия состоит из продуктов разложения накипи (соли кальция) и образовавшихся, в результате воздействия электромагнитного поля на воду, соединений железа, часть которых стали центрами кристаллизации для солей кальция [3]. В режиме подачи необработанной воды в теплообменный аппарат происходит процесс накипеобразования на теплопередающих поверхностях, что подтверждено сравнением площадей оседающих частиц на входе и выходе из теплообменного аппарата.

Анализ результатов измерения температур газа на двух параллельно эксплуатируемых теплообменных аппаратах показал, что в первом теплообменном аппарате наблюдаются колебания разницы температур газа. То есть процесс охлаждения с течением времени происходит неравномерно. Это может быть связано с тем, что разрушение накипи на некоторых участках происходит неравномерно. Во

втором теплообменном аппарате наблюдается относительно равномерное распределение температур газа.

Если сравнивать диапазон изменения температур газа до и после теплообменного аппарата, зафиксировано некоторое превышение разницы температур газа на входе и выходе первого теплообменного аппарата по сравнению с разницей температур газа на входе и выходе второго теплообменного аппарата (рис. 4). Это позволяет сделать вывод об увеличении коэффициента теплопередачи теплопередающей поверхности в первом теплообменном аппарате, на который поступает вода, прошедшая электромагнитную обработку.

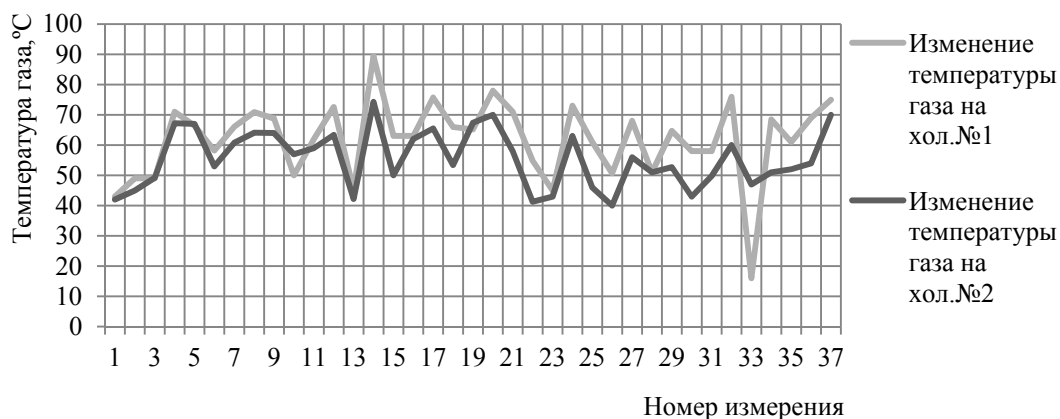


Рис. 4. Температурный перепад газа в первом и втором теплообменных аппаратах

По результатам измерения температур газа для каждого теплообменного аппарата определяются термические сопротивления по уравнению теплового баланса (расчетное значение) и тепловому расчету (экспериментальное значение) этих теплообменных аппаратов при известных температурных режимах газа и воды. По разнице расчетного и экспериментального значений термических сопротивлений определяют толщину накипи, соответствующую режиму эксплуатации теплообменных аппаратов. Расчетное значение термического сопротивления определяется по тепловой нагрузке теплообменного аппарата из уравнения теплового баланса, известной площади теплообмена и среднего температурного напора. Для первого и второго теплообменных аппаратов, эксплуатирующихся в режимах без электромагнитной обработки воды и с электромагнитным воздействием на воду, рассчитанные толщины накипи составили 3 и 0,6 мм соответственно.

Противонакипная эффективность ПЭОВ также подтверждена с помощью периодического осмотра теплопередающих поверхностей двух контрольных теплообменных аппаратов. Эти теплообменные аппараты вскрывались до и после ввода в эксплуатацию ПЭОВ и оценивались на наличие накипи в трубных пучках с помощью измерения проходных сечений не менее 50 % элементов трубного пучка в каждом теплообменном аппарате. До ввода в эксплуатацию ПЭОВ проходное сечение элементов трубных пучков теплообменных аппаратов составляло 6,0–13,8 мм. Результатом электромагнитного воздействия стало увеличение проходного сечения элементов до 21 мм, что соответствует их внутреннему диаметру по паспорту.

После измерения проходных сечений элементов трубных пучков, до и после ввода в эксплуатацию ПЭОВ, производилась оценка их забитости накипью по длине прохождения шомпола через эти элементы. Длина труб контрольных теплообменных аппаратов составляет 6 м. До ввода в эксплуатацию ПЭОВ через 50 % элементов трубного пучка проходжение шомпола с приложением некоторых усилий

осуществлялось на 0,2–0,5 м, через остальные 50 % элементов шомпол не проходил. Через месяц эксплуатации ПЭОВ прохождение шомпола по всей длине труб осуществлялось через 40 % элементов пучка теплообменных аппаратов от общего числа измеряемых элементов. Через остальные элементы шомпол проталкивался на 3–4 метра. По истечении 6 месяцев эксплуатации ПЭОВ шомпол свободно проходил по всей длине труб через все измеряемые элементы трубных пучков. Произведенные последующие периодические вскрытия теплообменных аппаратов подтвердили противонакипную эффективность ПЭОВ.

Таким образом, результатом электромагнитной обработки воды является чистая поверхность теплообменных аппаратов, что повышает их эффективность за счет более глубокого охлаждения высокотемпературных газовых потоков. В свою очередь более низкие температуры перерабатываемого газа исключают необходимость проведения их дополнительного охлаждения.

Сравним эффективность параллельно эксплуатируемых одинаковых теплообменных аппаратов по формуле Кирпичева [4]:

$$E = \frac{Q}{N}, \quad (1)$$

где Q – передаваемый тепловой поток, кВт; N – суммарная мощность, требуемая на прокачку воды через поверхность теплообмена, кВт:

$$N = \frac{G \cdot \Delta p}{\rho \cdot \eta}, \quad (2)$$

G – массовый расход воды, кг/сек; Δp – полное сопротивление, Па; ρ – плотность воды перед нагнетанием, кг/м³; η – КПД насоса.

Расчетные значения $Q_{\text{расч}}$ для первого и второго теплообменных аппаратов составили 334 и 210,6 кВт соответственно. Полное сопротивление потоку воды в первом теплообменном аппарате составило 106,6 кПа, а во втором теплообменном аппарате без электромагнитной обработки воды – 342,5 кПа [5].

Тогда эффективность первого теплообменного аппарата составит 49,19, а второго – 9,9. Таким образом, можно сделать вывод, что применение ПЭОВ на установке ООГ увеличивает эффективность теплообменных аппаратов в 5 раз.

Выводы

1. Процесс разрушения существующих твердых отложений на начальном этапе электромагнитной обработки воды подтверждается произведенными измерениями площадей оседающих частиц на экспериментальных стеклянных пластинах, установленных на входе и выходе одного из теплообменных аппаратов УООГ. При эксплуатации ПЭОВ площадь частиц на выходе из теплообменного аппарата больше, чем на входе в него, что свидетельствует о разрушении существующих твердых отложений. При режиме эксплуатации теплообменного оборудования без электромагнитной обработки воды, наоборот, площадь частиц на выходе из теплообменного аппарата меньше, чем на входе в него, что свидетельствует о том, что на теплопередающей поверхности теплообменного аппарата происходит процесс накипеобразования.

2. Сравнение (сравнительный анализ температур) температур газа на входе и выходе из двух параллельно эксплуатируемых одинаковых теплообменных аппаратов показало, что в теплообменном аппарате, на который подается обработанная вода, происходит более интенсивное охлаждение газа по сравнению с теплообменным аппаратом, эксплуатирующемся без электромагнитной обработки воды.

©Проблемы энергетики, 2015, № 1-2

3. С помощью определения разницы расчетного и экспериментального значений термических сопротивлений определена толщина накипи на одинаковых теплопередающих поверхностях теплообменных аппаратов, которые составили 3 и 0,6 мм для режимов их эксплуатации без электромагнитной обработки воды и с электромагнитной обработкой воды соответственно. Это является свидетельством того, что применение ПЭОВ в системе оборотного водоснабжения ГПЗ увеличивает эффективность охлаждения газа в теплообменных аппаратах за счет нейтрализации образования накипи.

4. Противонакипная эффективность ПЭОВ подтверждена с помощью вскрытия контрольных теплообменных аппаратов до ввода в эксплуатацию и периодическим осмотром их теплопередающих поверхностей в режиме электромагнитной обработки воды. Результатом эксплуатации ПЭОВ является увеличение проходного сечения элементов трубного пучка до паспортных значений внутреннего диаметра труб.

5. В результате внедрения ПЭОВ на УООГ повышается эффективность подготовки газа за счет снижения затрат, связанных с необходимостью дополнительного охлаждения газа регенерации и газа охлаждения.

Summary

In this article discusses the electromagnetic treatment of water as one of the nonchemical ways to reducing the amount of scum and increasing cooling efficiency of hot gas flows. The results of the industrial use appliance of electromagnetic water treatment (AEWT) on one of the technological cycles of a gas processing plant, which are showed the increase of efficiency of preparation of gas by reducing energy consumption on the passage of water through heat exchangers.

Keywords: *scum, electromagnetic treatment of water, thermal resistance, heat exchangers, cooling, high-temperature gas.*

Литература

1. Пат. 2494048 РФ, МПК CO2F 1/48. Способ электромагнитной обработки жидкостей и устройство для его осуществления (варианты)/Р.З. Сахабутдинов, Д.М. Рунов, Р.Б. Фаттахов, Р.Г. Гарифуллин, Ш.Г. Сибигагуллин, А.Г. Субботин; заявитель и патентообладатель ОАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. № 2012119652/05: заявл. 12.05.2012; опубл. 27.09.2013, Бюл. № 27.
2. Рунов Д.М., Сахабутдинов Р.З., Фаттахов Р.Б. и др. Испытание физических методов предотвращения образования накипи в системе оборотного водоснабжения // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. М.: ВНИИОЭНГ, 2012. №6. С. 26-30.
3. Рунов Д.М., Лаптев А.Г. Определение влияния электромагнитной обработки воды на предотвращение процесса накипобразования // Энергосбережение и водоподготовка. 2014. №5 (91). С. 22-26.
4. Гавра Т.Г., Михайлов П.М., Рис В.В. Тепловой и гидравлический расчет теплообменных аппаратов компрессорных установок: учебное пособие. Л.: ЛПИ, 1982. 72 с.
5. Рунов Д.М., Лаптев А.Г. Результаты промышленной эксплуатации прибора электромагнитной обработки воды в системе оборотного водоснабжения газоперерабатывающего завода // Нефтегазовое дело. 2014. №2. Т.12. С.158-165.

Поступила в редакцию

11 ноября 2014 г.

Рунов Дмитрий Михайлович – инженер 2 категории Татарского научно-исследовательского и проектного института (ТатНИПИнефть) ОАО «Татнефть», г. Бугульма. E-mail: runov_b81@mail.ru.

Лаптев Анатолий Григорьевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология воды и топлива» (ТВТ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).
E-mail: tvt_kgeu@mail.ru. Тел: 8(843)519-42-53.