УДК 537.528

ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Кусаиынов К., Нусупбеков Б.Р., Сакипова С.Е., Жуандыкова Г.А., Ботпаев Н.К.

Карагандиский Государственный Университет имени Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

Работа выполнена по грантовому проекту Министерства образования и науки Республики Казахстан.

АННОТАЦИЯ

Практика показывает, что если не проводить своевременную очистку внутренних полостей теплообмена от отложений, то эффективность работы технологических теплообменников снижается, нарушается нормальный режим работы оборудования. Интенсивность теплообмена зависит от степени чистоты внутренней полости рабочих поверхностей, появление даже тонкого налета отложений, резко ухудшает процесс передачи тепла.

Целю работы является проведение экспериментальных исследований по разработке электрогидроимпульсной технологии восстановления эксплуатационных свойств теплообменников.

В предлагаемой работе авторов представлены результаты экспериментальных исследований по очистке внутренних полостей труб теплообменного оборудования от твердых и особо твердых минеральных отложений с помощью электрического разряда в жидкости - названный электрогидроимпульсной технологией [1, 2], являющегося в настоящее время наиболее эффективным, экологически чистым способом.

ВВЕДЕНИЕ

Техническая вода, используемая в качестве рабочей жидкости, обладая уникальными свойствами эксплуатационного теплоносителя, является источником загрязнения рабочих поверхностей теплообменного оборудования. Примеси, содержащиеся в воде, в результате сложных физико-химических процессов, происходящих в процессе длительной эксплуатации, оседают на поверхностях теплообмена. Эти поверхности, представляющие собой, как правило, трубчатые конструкции, с течением времени обрастают отложениями в виде накипи, минеральных солей, ила, золы, песка и др. твердых образований.

В зависимости от способа образования различают:

- первичную накипь, выделяющуюся на наиболее нагретых и теплонапряженных участках поверхности нагрева, то есть там, где в результате теплопередачи концентрирование солей- накипеобразователей в воде протекает наиболее интенсивно.

- вторичную накипь – прикипевшую к поверхности металла частицы шлама, которые образовались в объеме жидкости или внесены в теплообменник извне питательной водой.

- продукты коррозии металла, они либо входят в состав вторичных накипей, либо образуют первичные железноокисные или медные накипи.

В составе первичных накипей содержатся карбонат кальция, сульфат кальция, гидрат оксида магния, силикаты кальция. В железноокисных накипях содержатся гематит и магнетит, и как примеси силикаты и фосфаты кальция и магния.

Из-за отложений в трубчатых поверхностях появляется термическое сопротивление, уменьшается коэффициент теплопередачи, в целом происходит снижение теплообмена между теплоносителями и, как следствие, увеличение расхода топлива и перегрев металла. Максимальная толщина отложений, допускаю-

щая рабочий режим для теплообменников, не должна превышать 0,2÷0,4 мм. При большой толщине накипи увеличивается сопротивление к проходу теплоносителя, происходит нарушение циркуляции. Для устранения указанных технологических отложений и восстановления эксплуатационных свойств теплообменников предусматривается очистка поверхностей от отложений применением различных физико-химических методов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выбора методики очистки и обоснования эффективной технологии удаления отложений необходимо было исследовать эволюцию роста отложений, их структуру и основные свойства. Для этой цели авторами настоящей работы были проведены эксперименты по выращиванию отложений в условиях, близких к технологическим условиям появления и роста накипи. Медные образцы теплообменных поверхностей размерами 10×10 мм были прикреплены к нагревательным элементам, расположенным в среде теплоносителя - в технической воде из водозабора питательной воды ТЭЦ [3, 4].

Процесс появления и роста отложений визуально контролировался с помощью электронной микроскопии. Характерные фотографии отложений, полученные с помощью микроскопа Tescan Vega II показаны на рисунках 1 и 2 и аналогичные фотографии отложений, образовавшиеся на медных образцах в водной среде из водопроводной сети (рис. 3 и 4).

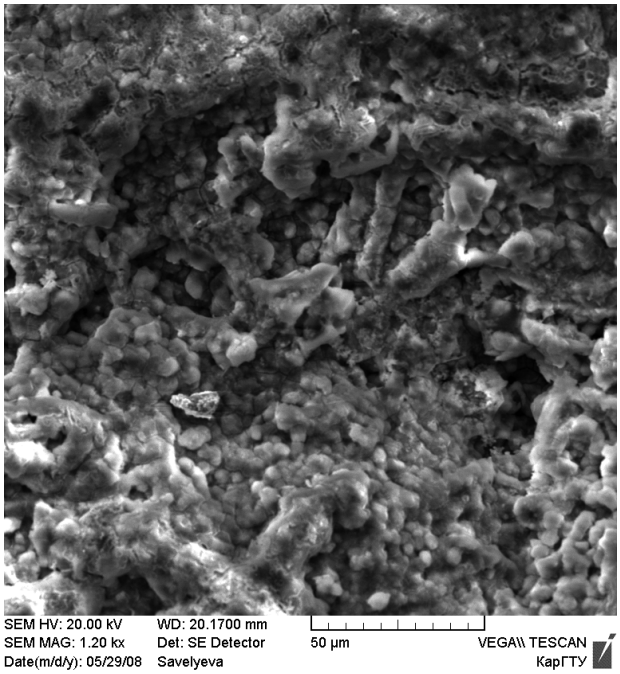

Рис.1 Отложения на медном образце, выращенные в среде технической воды.

Видно, что в первом случае преобладают гладкие, хаотически расположенные комкообразные конфигурации, при большом увеличении (рис.2) наблюдаются множество трещин, показывающие на слабую скрепляемость. Во-втором случае мы наблюдаем сформировавшиеся правильные комковые структуры поверхность которых представляют скрепленные между собой кристаллические структуры различной неправильной формы. Полученные визуальные картины отложений позволяют делать вывод о том, что эти структуры в целом слабо скреплены между собой и металлическим основанием могут быть легко разрушены электромеханическими ударно-волновыми воздействиями, создаваемыми электрическими разрядами в жидкости, и удалены из поверхностей теплообмена.

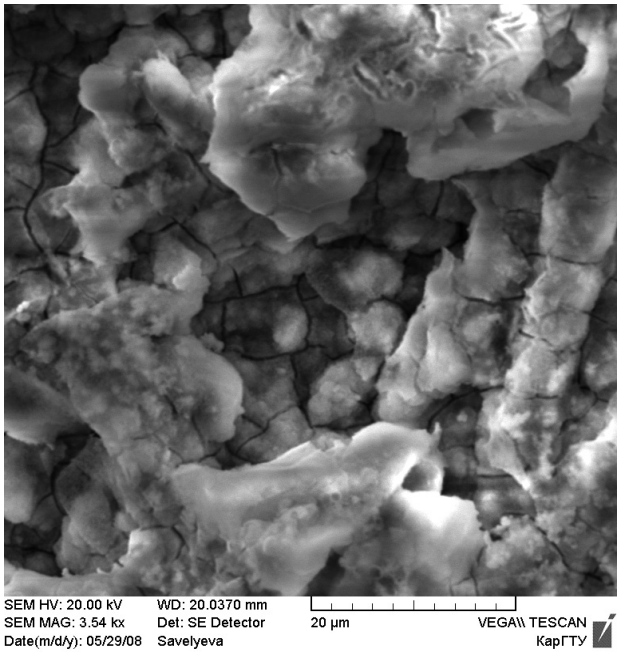

Рис.2 Отложения, образовавшиеся в среде в технической воды при большом увеличении.

Для проведения экспериментального исследования ударно-волнового воздействия с

целью разрушения структуры и удаления отложений авторами работы был собран лабораторный стенд с электрогидравлической аппаратурой, схема которого представлена на рисунке 5.

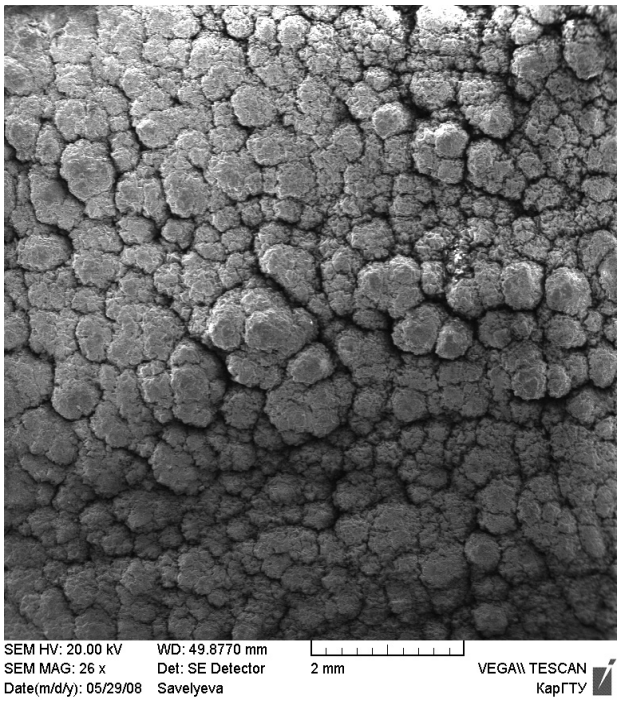

Рис.3 Комкообразные отложения, выращенные на образце в водной среде из водопроводной сети.

Стенд включает в себя два контура циркуляции жидких теплоносителей, рабочий участок с теплообменной поверхностью с отложениями, дифференциальные термопары с регистрирующей аппаратурой для измерения разности температур в первом T_2-T_1 и во втором T_4-T_3 контурах. Электрогидравлическая аппаратура состоит из блока питания, пульта управления (ПУ), генератора и электродов. Электроды вмонтировались в очистительную головку (ОГ), которая вводилась во внутреннюю полость рабочего участка. Измерение коэффициента гидравлического сопротивления производилось по показаниям дифференциального манометра, подключенного в двух точках к рабочему участку. Коэффициенты теплоотдачи определялись при помощи дифференциальной термопары измеряющей перепад температуры на рабочем участке.

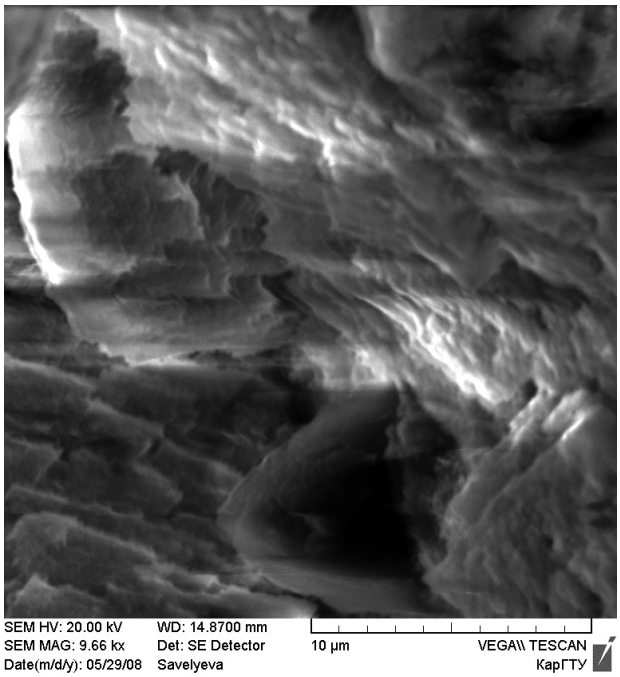

Рис.4 Увеличенные изображения поверхностей комкообразных отложений.

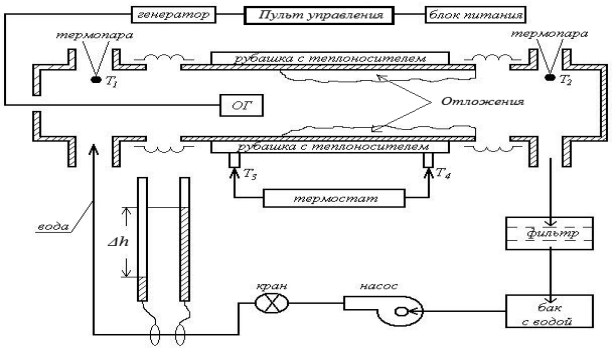

Рис.5 Лабораторный стенд с электрогидравлической аппаратурой.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лабораторные исследования на экспериментальном стенде проводились на образцах труб, взятых из сетей тепловодоснабжения, из теплообменников, бойлеров, котлов и т.п., побывавших в эксплуатации в течение нескольких сезонов. Диаметр образцов труб составлял от 16 до 51 мм, толщина стенок труб от одного до трех миллиметров. Длины очища-

емых труб были разными, от одного до пяти метров.

На рис. 6 представлены результаты измерения коэффициента теплоотдачи в зависимости от толщины отложений. Из графика видно, что зависимость носит экспотенциальный характер.

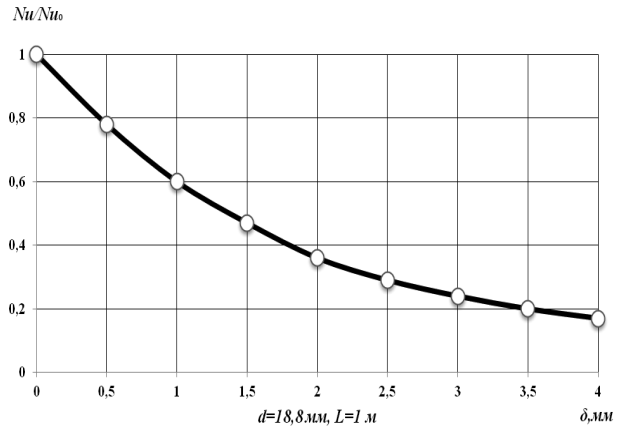

Рис.6 Зависимость теплоотдачи трубы от толщины отложений.

При малых толщинах отложений влияние их на теплоотдачу сильнее, чем при больших толщинах. Из этого следует вывод о том, что появление первоначального небольшого налета отложений на чистой стенке толщинами порядка до 0,55 мм. на теплоотдачу влияет сильнее, чем дальнейший рост толщины уже имеющейся накипи.

Результаты этих измерений показывают, что очистные работы необходимо проводить с высокой степенью чистоты. Оставление даже небольшого слоя приводит к резкому ухудшению характеристик теплообменных аппаратов.

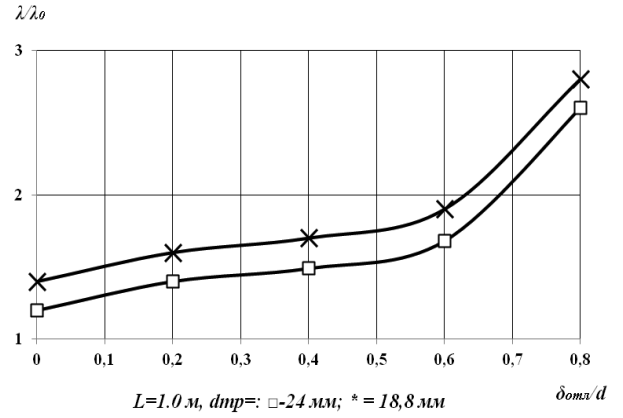

Рис.7 Гидравлическое сопротивление трубы при разных толщинах отложений.

На рисунке 7 представлены результаты измерения коэффициентов гидравлического сопротивления труб в зависимости от толщины отложений.

Видно, что отложения с малыми толщинами только незначительно влияют на коэффициенты гидравлического сопротивления.

Измерение амплитуды импульсов давлений проводились традиционными методами с применением импульсных датчиков давлений. Распределение безразмерного давления по длине трубы диаметром 18 мм представлено на рисунке 8, здесь же показано изменение давления по длине трубы при наличии отложения средней толщиной 3 мм.

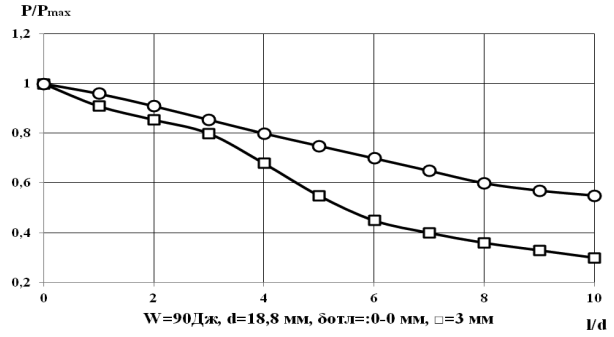

Рис.8 Изменение давления по длине трубы.

Видно, что импульс давления, вызванный электровзрывом, распространяется только на определенное расстояние, на расстоянии около десяти диаметров амплитуда импульса давления падает почти два раза. Наличие отложений уменьшает зону воздействия подводного электровзрыва, амплитуда импульса давлений уменьшается относительно быстрее.

Зависимость длины зоны разрушения от энергии взрыва представлена на рис. 9 Минимальное значение энергии, при котором начинается разрушение отложений исследованной латунной трубы, равно около 45 Дж.

Из полученных результатов следует, что длина, определяющая область разрушения, может составить как минимум несколько диаметров трубы. Аналогичные данные получены для стальных, титановых труб, такого же диаметра порядка 20 мм. Важным моментом является то, что длина зоны разрушения не всегда прямо пропорциональна энергии взрыва. С увеличением подвода энергии (W >> 200 дж) наблюдается тенденция к замедлению роста. Этот факт указывает на существование некоторых оптимальных значений энергии электрического разряда.

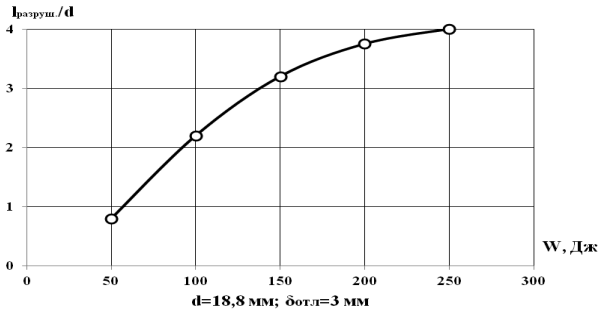

Рис.9 Зависимость длины зоны разрушения от энергии разряда.

Ограничение верхнего предела значений энергии разряда связано также с возможностью разрушения стенок трубы и появлению пластических деформаций, трещин на теплообменных поверхностях. Были проведены специальные исследования по определению максимально допустимой энергии единичных разрядов в зависимости от материала и толщины обрабатываемой поверхности. Для одной из исследованных латунных труб экспериментальная зависимость представлена на рисунке 10.

Аналогичные данные были получены нами для стальных, титановых труб и труб из нержавеющей стали, которые наиболее часто применяются в промышленной теплоэнергетике. В следующих опытах, меняя диаметр трубы и толщину отложений, по известному значению минимального давления определялось значение энергии разряда, необходимого для эффективного разрушения отложений.

Результаты экспериментов показали, что лабораторная установка практически полностью очищает твердые отложения в виде ржавчины, накипи, песка, ила и др. Неочищенными остаются отдельные тонкие налеты. Визуальные наблюдения показали, что площадь, занимаемая этими остаточными отложениями составляет не более 5-7 % от общей очищаемой площади трубы.

В опытных образцах системы аппаратуры для восстановления эксплуатационных свойств теплообменников в качестве очистительной головки использовался кабель-электрод с оголенной жилой на конце. В отличие от известных аналогов электрические разряды в жидкости проходят между оголенной жилой и стенкой очищаемой трубы, что и упрощает процесс очистки и износ рабочего органа [5].

В дальнейшем опыты по очистке проводились в оптимальном режиме, когда значение энергии обеспечивало эффективное разрушение отложений, не оказывая при этом разрушающего действия на стенки трубы. Результаты этих исследований использовались при создании промышленного варианта аппаратуры.

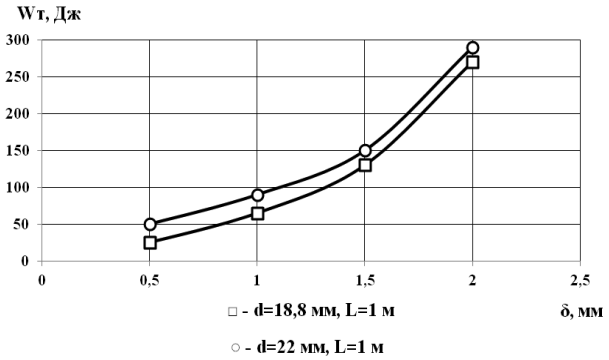

Рис.10 Зависимость максимально допустимой энергии разряда от толщины стенок обрабатываемой трубы.

ВЫВОДЫ

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- экспериментально исследована эволюция появления и роста накипных отложений на образцах поверхностей теплообмена помещенные в среду технической воды;
- методами электронной микроскопии исследована структура отложений, обоснована возможность применения ударно-волновых методов для удаления отложений;
- в лабораторных условиях с использованием возможностей опытного электрогидоимпульсного стенда получены зависимости для коэффициентов теплоотдачи, гидравлического сопротивления, изменение амплитуды давления по длине трубы, длины зоны разрушения отложений от энергии разряда;
- определены оптимальные параметры электрогидроимпульсной технологии восстановления эксплуатационных свойств теплообменников - энергия разряда, напряжение генератора;
- для упрощения процесса удаления отложений предложено новое техническое решение - использование в качестве очистительной головки кабеля-электрода с оголенной жилой на конце.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кусаиынов К. Гидродинамика, теплообмен и электрогидравлические явления при движении двухфазных сред в трубах // Караганда: Издательство КарГУ, 1998. 114 с.

   Kusaiynov K. Gidrodinamica, teploobmen i electrogidravlicheskie yavleniya pri dvizhenii dvuhfaznyh sred v trubah [Hydrodynamic, thermal exchange and electrohydraulic phenomena of the motion biphasic mediums in tubes], Karaganda, 1998

2. Кусаиынов К., Нусупбеков Б.Р., Хасенов А.К. Энергоэффективные технологии очистки теплоагрегатов // Проблемы промышленной теплотехники: VII Международной конференции (23-27 мая 2011 г.)/Киев, 2011. - с.50-51

   Kusaiynov K., Nusupbekov B.R., Xasenov A.K. (2011). Energoeffectivnye tehnologii ochistki teploagregatov [Energy efficient cleaning technology teploagregats], Kiev, 2001

3. Кусаиынов К., Нусупбеков Б.Р., Турлыбекова Р.С. Изучение микроструктуры котельных накипей // Вестник развития науки и образования. М.: Издательство Наука филиала ЗАО “АЛКОР”, 2009, - №2, - с. 7-10

   Kusaiynov K., Nusupbekov B.R., Turlybekova R.S.. (2009). Izuchenie microstructury kotelnyh nakipei [The study of the microstructure boiler plants a scum], Nauka, №2

4. Кусаиынов К., Сакипова С.Е., Айтпаева З.К., Оспанова Д.А. Особенности структуры накипных отложений на поверхностях теплообменных аппаратов // Вестник Карагандинского университета. - Серия физика. - 2010. - №1 (57). - с. 30-35

   Kusaiynov K., Sakipova S.E., Aitpaeva Z.K., Ospanova D.A. (2010), Osobennosti structury nakipnyh otlozhenii na poverhnostyah teploobmennyh apparatov [Features of struktrury crustose deposits on the surfaces of heat exchangers]. Vestnik KarGU, №1

5. Кусаиынов К., Жанабаев З.Ж., Мухамедин С.М., Сакипова С.Е., Уалиев Е.Б. Устройство для очистки внутренних поверхностей труб теплообменников от твердых и сверхтвердых отложений // Астана, Патент № 12247, 2001

   Kusaiynov K., Zhanabaev Z.ZH., Muhamedin S.M., Sakipova S.E., Ualiev E.B. (2001), Ustroistvo dlya ochistki vnutrennih poverhnostei trub teploobmennikov ot tverdyh i sberhtverdyh otlozhenii [Device for cleaning the internal of surfaces heat exchanger tubes from sediments of hard and superhard], Astana, Patent №12247, 2001

© Кусаиынов К., Нусупбеков Б.Р., Сакипова С.Е., Жуандыкова Г.А., Ботпаев Н.К.