

УДК 629.01

Анипко О.Б., Гогенко А.Л.

## ПРОБЛЕМА ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕПЛООБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

В настоящее время возможности повышения теплогидравлических характеристик технологических теплообменных аппаратов в основном исчерпаны. Однако, задачи снижения энергоемкости продукции и её себестоимости в целом, остается актуальной. Одним из путей решения этой задачи применительно к технологическим теплообменным аппаратам является снижение капитальных затрат и эксплуатационных расходов, в число которых входит очистка теплопередающей поверхности ТА с целью удаления отложений, создающих дополнительное термическое сопротивление, которое в свою очередь приводит к недогреву теплоносителей, повышению расходов и температур греющих теплоносителей.

Проблема отложений на теплопередающих поверхностях рекуперативных теплообменных аппаратов не нова. Наряду с периодическими очистками различными исследователями предлагалось увеличивать скорость теплоносителя увеличивать расчетную поверхность на 10...20 %, а иногда и на 50...100 %, вводить добавки в теплоноситель и другие. Однако, до настоящего времени универсального метода предотвращения образования отложений не разработано. По-видимому, он и не может быть разработан в виду ряда объективных данностей, к которым следует отнести:

- невозможность использования „чистого” теплоносителя, т.е. не содержащего примесей образующих отложения;
- изменение температуры поверхности ТА, а именно, её нагрев, что увеличивает химическую активность конструкционных материалов
- микро- и макро- электромагнитные процессы в пограничном слое теплоносителя и тонком поверхностном слое теплообменной поверхности.

Перечисленные методы предотвращения загрязнений, таким образом, в лучшем случае являются решениями частых задач для конкретных условий. Так, увеличение скорости теплоносителя ведет к повышению гидравлического сопротивления, а следовательно увеличивается мощность, затрачиваемая на прокачивание теплоносителя. Увеличение поверхности для компенсации возросшего термического сопротивления также нельзя признать вполне оправданным, поскольку, во-первых, дополнительная поверхность также загрязняется; во-вторых – увеличивается соответственно стоимость ТА; и, на конец, в-третьих – увеличивается гидравлическое сопротивление.

Применение добавок тоже не является универсальным способом, поскольку не во все теплоносители возможно их введение, далее, при повышенных температурах может начинаться эрозия или коррозия материала поверхности, и здесь не всегда однозначно можно оценить что будет иметь более неприятные последствия.

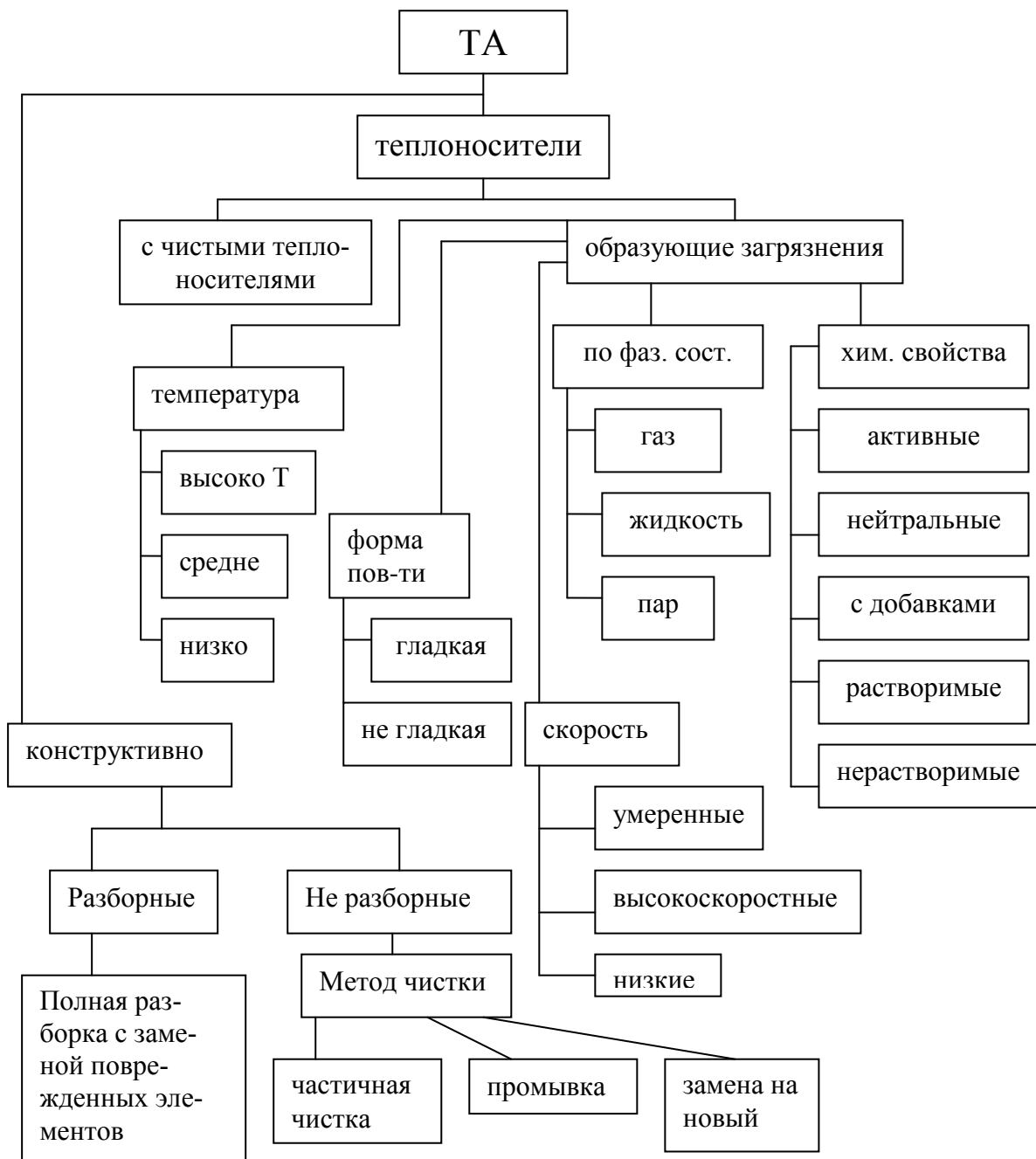
Таким образом, до настоящего времени основным способом борьбы с отложениями на поверхности ТА является промывка с последующей очисткой поверхности механическим способом.

В этой связи возникает ряд частных задач, решение которых позволяет свести отрицательный эффект от образования загрязнений к минимуму:

- определить интенсивность образования загрязнений для различных теплоносителей и условий эксплуатации;

- разработать модель работы ТА с учетом изменения к.т.п. в процессе эксплуатации для прогнозирования сроков проведения обслуживания поверхности;
- на основе данных первых двух задач разработать модель функциональной надёжности ТА с учетом образования отложений для разработки графиков

В настоящее время в промышленности, энергетике и на транспорте применяется большое количество рекуперативных ТА с различными теплоносителями. С учетом поставленных задач исследования и общей направленности работы целесообразно разработать классификацию ТА, отражающую специфические условия образования загрязнений, и представить решения для группы или класса аппаратов.



В последнее десятилетие, с развитием технологии, одним из путей решения проблемы отложений для неразборных ТА явилась полная их замена. Так, ряд фирм предлагает для тепlopунктов и систем ГВС медные кожухотрубные ТА, которые после выработки ресурса заменяют на новый, а отработавший переплавляют и из этого материала изготавливают новый.

В дальнейшем ведется анализ влияния отложений на поверхностях пластинчатых ТА (ПТА) – как типа теплообменников, который конструктивно (разборные и полу-разборные) наиболее приспособлен для обслуживания поверхности и в настоящее время получает все большее распространение в виду ряда преимуществ [6,18,26].

Загрязнение теплообменной поверхности и ее влияние на теплогидравлические характеристики ПТА заключается в следующем:

1. Изменение  $K$  – коэффициента теплопередачи;
2. Изменение проходного сечения для потока теплоносителя;
3. Изменение формы канала ввиду неравномерности отложений по длине и периметру;
4. Изменение шероховатости поверхности;
5. Ввиду п.2, 3 и 4 изменение гидравлического сопротивления.

В большинстве литературных источников [2,6,13,16] приводятся данные о термическом сопротивлении теплопередаче отложений различных теплоносителей без указания на то, через какое время работы ТА получены эти значения

- 1.Поскольку в общем случае

$$R_{\text{отд.}} = f(\tau) = \frac{\delta(\tau)}{\lambda},$$

то коэффициент теплопередачи работающего теплообменника также будет изменяться во времени

$$K(\tau) = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1(\tau)}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_2(\tau)}{\lambda_{\text{ст}}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1(\tau)}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_2(\tau)}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} + R_{\text{отд.}}(\tau)}$$

2. Площадь проходного сечения каналов для потока теплоносителя

$$S = \frac{G}{W};$$

$W$  – скорость теплоносителя ограничена вибрацией, шумом, мощностью на его прокачивание.

Если положить, что  $G = \text{const}$ , то

$$S \cdot W = G; \quad S = f(\tau)$$

Для обеспечения условия  $G = \text{const}$  при уменьшении  $S$  в виду отложений скорость потока должна возрастать, т.е.  $W = f_1(\tau)$

Рост скорости ограничен мощностью на прокачивание теплоносителя.

$$G = S(\tau) \cdot W(\tau);$$

Таким образом, отложения будут приводить к уменьшению проходного сечения канала, скорость теплоносителя будет возрастать, соответственно этому будет увеличиваться гидравлическое сопротивление и, как следствие, мощность, затрачиваемая на прокачивание теплоносителя. Все это не только ухудшает гидравлические характеристики теплообменника но и ведет к повышению энергоемкости готовой продукции в целом.

3. Изменение геометрической формы канала обусловлено отложениями, которые для гофрированных поверхностей пластин характеризуются неравномерностью толщины слоя во впадинах гофр (рис. 1)

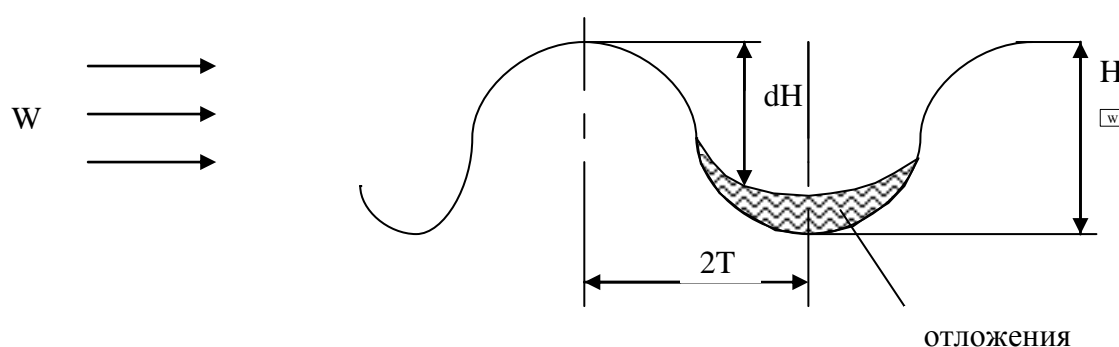


Рисунок 1 – Изменение геометрической формы обтекаемой гофрированной поверхности в результате отложений

Кроме того, как можно видеть, изменяются не только геометрические размеры, но и форма поверхности и поэтому можно предположить, что и теплоотдача такой поверхности будет отличаться от таковой с неизменной геометрической формой.

4. Шероховатость – определяет коэффициент сопротивления. Если она меняется во время работы ТА, то изменяется и потребная мощность на прокачивание теплоносителя, что приводит к отклонению фактической скорости в ТА от расчетной.

Решение проблемы загрязнений и оценка их влияния на характеристики ПТА теоретическими методами едва ли возможно. Это обусловлено тем, что практически каждый аппарат работает при вполне конкретных условиях. Поэтому возможным методом решения прогнозирования загрязнений является полуэмпирический, когда на основе данных о работающем теплообменном оборудовании условия его работы классифицируются на группы и для этих групп и классов, используя модель интенсивности роста термического сопротивления отложений, прогнозируются мероприятия по поддержанию требуемого уровня энергоэффективности теплотехнологического процесса. Для решения этой задачи „Альфа-Лаваль-Украина” начала проводить мониторинг эксплуатационных характеристик установленного ранее теплообменного оборудования путем опроса эксплуатирующих его предприятий.

Опрос осуществляется с помощью разработанной „Карты технического состояния ПТА”, которая включает следующие пункты:

Предприятие \_\_\_\_\_  
 Город \_\_\_\_\_  
 Тел. (факс) \_\_\_\_\_

Общие данные

Тип ПТА \_\_\_\_\_  
 Дата установки \_\_\_\_\_ год \_\_\_\_\_ месяц \_\_\_\_\_  
 Дата ввода в эксплуатацию \_\_\_\_\_ год \_\_\_\_\_ месяц \_\_\_\_\_  
 Общее число часов работы от даты ввода в эксплуатацию \_\_\_\_\_ часов  
 График работы (непрерывно, периодически, сезонно) \_\_\_\_\_  
 Ремонты и обслуживания (количество, периодичность, объем работ) \_\_\_\_\_

Отказы или изменение теплогидравлических характеристик от расчетных значений \_\_\_\_\_

Теплообменная поверхность \_\_\_\_\_ м<sup>2</sup>  
 Схема движения теплоносителей \_\_\_\_\_  
 Горячий теплоноситель \_\_\_\_\_  
 Холодный теплоноситель \_\_\_\_\_

Контролируемые характеристики ПТА

расчетные значения	на момент контроля
Горячий теплоноситель	
Температуры	
Вход $T'_г$ _____ °C	_____ °C
Выход $T''г$ _____ °C	_____ °C
Расход, кг/час _____	_____
Холодный теплоноситель	
Температуры	
Вход $T'_х$ _____ °C	_____ °C
Выход $T''х$ _____ °C	_____ °C
Расход, кг/час _____	_____
Дата контроля _____	200__ г.

В результате обработки данных 12 предприятий было установлено, что все ПТА, работающее в теплотехнологических схемах, подвержены образованию отложений, которые снижают коэффициент теплопередачи, что приводит к повышению расходов теплоносителей, увеличивают гидравлическое сопротивление, а следовательно и затраты мощности на прокачивание теплоносителя, а в совокупности приводит к повышенной энергоемкости и себестоимости продукции. Так, согласно данным Авдеевского коксохимического завода (г. Авдеевка, Донецкая обл.) через месяц после ввода в эксплуатацию теплообменника компаблок CPL-50 гидравлическое сопротивление со стороны масла возросло в два раза, что привело к увеличению расхода холодного теплоносителя более чем в три раза. Данные, представленные ДнепрАЗОТ (г. Днепропетровск) для теплообменника компаблок CP-50 работающего на теплоносителях углекислота-

вода также показывают необходимость очистки поверхности 1-2 раза в год при непрерывной работе теплообменника.

Учитывая, что в настоящее время даже для таких распространенных теплоносителей как вода и водяной пар не разработаны модели образования отложений, представляется практически важным создание таких моделей в виде функции термического сопротивления слоя отложений от времени работы ПТА и скорости теплоносителя. В дальнейшем, число параметров, определяющих термическое сопротивление может быть увеличено, в зависимости от специфических условий работы теплообменника и применяемых теплоносителей.

### Литература

1. Шицман М.Е., Егоров Э.Д. О динамике роста отложений солей в интенсивно обогреваемых трубах НРЧ котла СКД блока 300 МВт. // Теплоэнергетика, 1969. № 4. С. 10-14.
2. Бурков В.В., Индейкин А.И. Автотракторные радиаторы Л.: Машиностроение, 1978.
3. Маньковский О.Н., Толчинский А.Р., Александров М.В., Теплообменная аппаратура химических производств. Л.: Химия 1976.
4. Reitzer V. Rate of Scal Formation in Tubular Heat Exchangers". Ind. Eng I Chem. Proc. Des and Dev. 1964., Vol. 3, N 4.
5. Анипко О.Б. Рациональные теплообменные поверхности. Харьков: ХВУ. 1998. 187 с.
6. Справочник по теплообменникам / Под ред. М. Энергия 1986. Т. 2.
7. Гаврилов А.Ф., Маикин Б.М. Загрязнение и очистка поверхностей нагрева котельных установок. М.: Энергия. 1980.
8. Кузнецов В.А. Загрязнение конвективных поверхностей парогенераторов инерционными фракциями уноса // Изв. Вузов. Энергетика. 1970. № 9. С. 56-62.
9. Уоткинсон, Мартинец. Отложения карбоната на стенках труб теплообменника // Теплопередача, 1975. № 4. С.5-11.
10. Вермс. Термофорез – интенсивное осаждение частиц в межлопаточных каналах решеток газовых турбин // Энергетические машины и установки. 1979. № 4 С. 56-64.
11. Жимерин Д.Г. Современные проблемы энергетике. М.: Энергоатомиздат, 1984.
12. Монин О.В., Спокойный Ф.Е. Теплообмен цилиндра с поперечным слабозапыленным потоком при наличии сыпучих отложений // Теплоэнергетика. 1982. № 9. С 67-68.
13. Анипко Б.В. Проблема загрязнения теплообменных устройств и прогнозная оценка их термического сопротивления теплопередаче. / Препринт ИПМаш НАН Украины, Харьков, 1987.
14. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. М. Мир, 1983.
15. Фраас Оцисик Расчет и конструирование теплообменников.М.
16. Коваленко Л.М., Глушков А.Ф. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи. М.: Энергоатомиздат, 1986.
17. Анипко О.Б., Капустенко П.А. Исследование теплогидравлических характеристик пластинчатых теплообменных аппаратов. Харьков: ХГПУ, 1998, С. 36.
18. Товажнянский Л.Л., Анипко О.Б.и др. Основы энерготехнологии промышленности. Харьков НТУ «ХПИ». 2002.

19. РТМ 26-01-36-70.
20. Анипко О.Б., Арсеньева О.П. Надежность пластинчатых теплообменных аппаратов систем отопления и горячего водоснабжения с учетом образования загрязнений на теплопередающей поверхности // Интегрированные технологии и энергосбережение, 2003. - № 4. - С.9-13.
21. Анипко О.Б., Арсеньева О.П., Гогенко А.Л. Изменение параметров процесса теплопередачи при образовании отложений на теплопередающей поверхности // Интегрированные технологии и энергосбережение, 2004. - № 2.
22. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок / Иванов В.Л., Леонтьев А.И. и др. – М.: Из-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003. –592 с.: ил.
23. Shaltens R.K., Manson L.S. 800 Hours of Operational Experience from a 2kw Solar Dynamic System // reports of the Space Technology and Applications International Forum 1999. – The American Institute of Physics. 1999. CP 458, pp 1426-1431.
24. Авдудевский В.С. Основы теплопередачи в авиационной и ракетной технике.
25. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. 1971. 381 с.
26. Heat Exchanger service Guide. / By L. Warlin  $\alpha$ -Laval Thermal AB. Sweden. 2004.
27. Теория теплообмена. Пластинчатые теплообменники. Alfa Laval. 2004.

Аніпко О.Б., Гогенко А.Л.

### **ПРОБЛЕМА УТВОРЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ НА ТЕПЛООБМІННИХ ПОВЕРХНЯХ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ**

Наведено аналіз основних факторів що впливають на зміну термічного опору тепловіддачі у наслідок утворення відкладень на теплообмінній поверхні. Розроблено класифікацію теплоносіїв відповідно ознак щодо утворення відкладень. Наведено дані моніторингу стану пластинчастого теплообмінного обладнання що працює у теплотехнологічних процесах виробництва хімічної та металургійної галузей промисловості.