

Анипко О.Б., Гогенко А.Л.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕПЛООТДАЧУ

В процессе эксплуатации теплообменных аппаратов (ТА) на их поверхностях образуются инородные образования, которые вносят дополнительное термическое сопротивление и загромождают проходное сечение каналов по которым движутся теплоносители. Все это в своей совокупности приводит к изменению теплогидравлических характеристик ТА.

Многолетние исследования [1,2,3] показывают, что отложения на поверхности теплообмена образуются вследствие молекулярного притяжения, соударения частиц с поверхностью и последующего подлипания, что может быть обусловлено следующими процессами:

- термофорез, когда перегретая относительно потока теплоносителя поверхность отталкивает дисперсные частицы, а переохлажденная – притягивает, что наблюдается, в основном, в газах;
- наличие электрических полей;
- химические реакции;
- конденсация паров.

В общем случае работа ТА характеризуется двумя периодами:

1. Снижение интенсивности теплопереноса и рост гидравлического сопротивления;
2. Стабилизация теплопередачи и гидравлического сопротивления на новом уровне, обусловленном загрязнением поверхности.

Следует отметить, что загрязнение теплообменной поверхности не всегда приводит к ухудшению теплопередачи, при этом гидравлическое сопротивление возрастает всегда. Интервал времени, через который наступает стабилизация теплогидравлических характеристик, зависит от скорости теплоносителя и его физико-химических свойств. Уровень значений коэффициента теплопередачи и гидравлического сопротивления на котором происходит стабилизация характеристик ТА, определяется скоростью и температурой теплоносителя, температурой поверхности и не зависит от степени начального загрязнения поверхности и степени загрязнения теплоносителя.

Поэтому возникает задача оценки влияния перечисленных факторов на теплопередающую способность работающего теплообменного аппарата.

Рассмотрим элемент поверхности ТА, представленный на рис. 1.

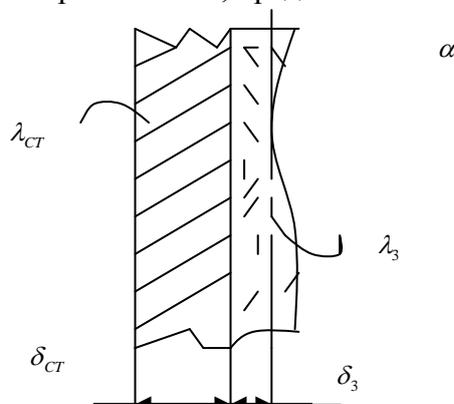


Рисунок 1

Для решения поставленной задачи использовался критерий Bi , представленный в виде:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot \delta_3}{\lambda_3} = \frac{\delta_3 / \lambda_3}{1/\alpha} = \frac{R_3}{R_\alpha}, \quad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, λ_3, δ_3 – теплопроводность и толщина слоя отложений, соответственно, а R_3, R_α – термические сопротивления теплопроводности слоя отложений и теплоотдачи соответственно.

В общем случае термическое сопротивление R_3 является функцией скорости теплоносителя и времени работы ТА, т.е. $R_3 = f(w; \tau)$.

Для заданного типа поверхности коэффициент теплоотдачи α определяется как

$$\alpha = \frac{Nu(Re) \cdot \lambda}{d_y(\tau)}, \quad (2)$$

где критерий Нуссельта в общем случае определяется по соответствующему критериальному уравнению, структура которого для большинства поверхностей при вынужденной конвекции имеет вид:

$$Nu = c_1 \cdot Re^n \cdot Pr^m. \quad (3)$$

Тогда, с учетом (3), перепишем (2) в виде

$$\alpha = \frac{c_1 w^n(\tau) d_y^n(\tau) Pr^m \cdot \lambda}{v^m \cdot d_y(\tau)} = \frac{c_1 \cdot w^n d_y^{n-1} Pr^m \cdot \lambda}{v^n} = \frac{c_1 w^n d_y^{n-1} \cdot v^m \cdot \lambda}{v^n \cdot a^m} = \frac{c_1 \cdot w^n d_y^{n-1} v^{m-n} \cdot \lambda}{a^m}. \quad (4)$$

С учетом (4) перепишем (1) в виде

$$Bi = \frac{R_3(\tau; w) \cdot c_1 \cdot w^n d_y^{n-1} \cdot v^{m-n} \cdot \lambda}{a^m} = R_3(\tau; w) \cdot c_1 \cdot w^n d_y^{n-1} v^{m-n} \cdot \lambda^{1-m} \cdot (c\rho)^m; \quad (5)$$

или окончательно:

$$Bi = R_3(\tau; w) \cdot c_1 \cdot w^n d_y^{n-1} v^{m-n} \lambda^{1-m} \cdot (c\rho)^m \quad (5^1)$$

Из анализа физического смысла критерия Био – отношение термического сопротивления теплопроводности слоя загрязнений к термическому сопротивлению теплоот-

дачи конвективной среды – следует, что слой отложений не будет снижать коэффициент теплопередачи если $Bi < 1$; и будет деинтенсифицировать теплоотдачу при $Bi > 1$;

Таким образом, критическое значение числа Био $Bi=1$, позволяет для каждой субстанции, образующей отложения на поверхности определить толщину слоя отложений, соответствующую критическому значению числа Bi при заданных условиях конвективного теплообмена. Далее, имея модель изменения термического сопротивления во времени, можно определить время работы ТА, за которое образуется этот слой. Это значение времени есть нижний временной предел сервисного обслуживания поверхности теплообмена, а верхний предел определяется минимальным значением коэффициента теплопередачи K , когда работа ТА ещё считается удовлетворительной.

В качестве иллюстрации применения разработанного подхода рассмотрим поверхность пластинчатого теплообменника со ступенчатым профилем гофр. Критериальное уравнение теплоотдачи для такой поверхности [4]:

$$Nu = 0,2 Re^{0,67} Pr^{0,4} \quad (6)$$

Считаем, что отложения типа накипь ($\lambda \approx 2$ Вт/м·К), теплоноситель вода. На рис. 2 представлен график функции изменения критерия Bi от времени.

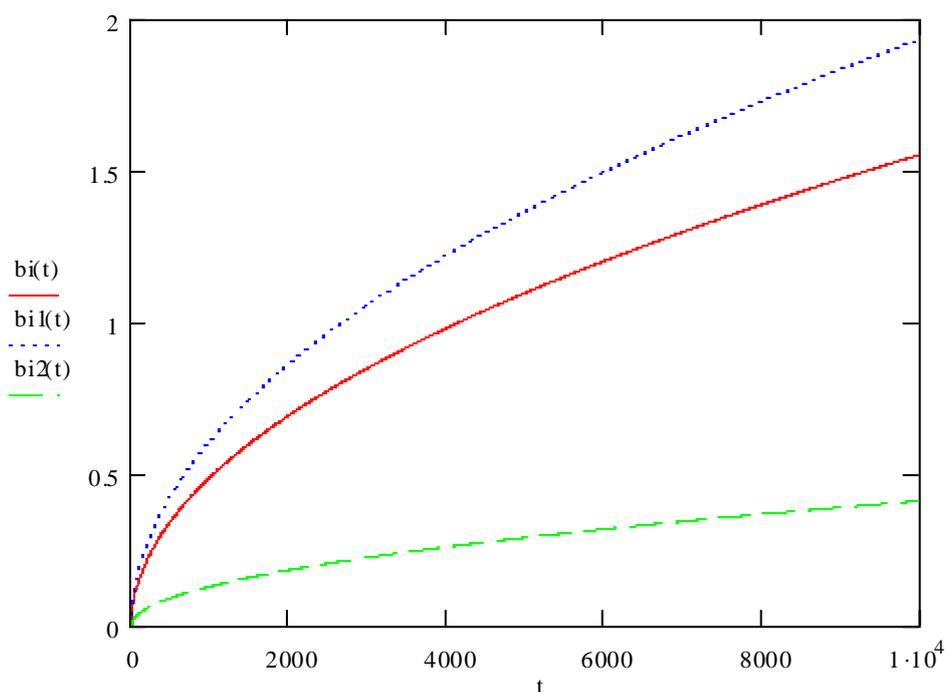


Рисунок 2 – Изменение критерия Био от времени работы теплообменника для скоростей теплоносителя 0,2 , 0,4 и 1,0 м/с

Кроме того, разработанный подход позволяет проанализировать влияние изменения скорости теплоносителя ввиду отложений с учетом их природы – накипь, орга-

ника, био- или осадок на критерий Vi . Графики функций $\frac{W_3}{W_0} = f(\tau)$ для различных типов отложений приведены на рис. 3.

Таким образом, разработан подход, который позволяет по величине критерия Vi , как функции теплофизических свойств теплоносителя, его скорости и свойств отложений оценивать теплопередающую способность теплообменных аппаратов, что в свою очередь, дает возможность поддерживать их эксплуатационные свойства на заданном уровне.

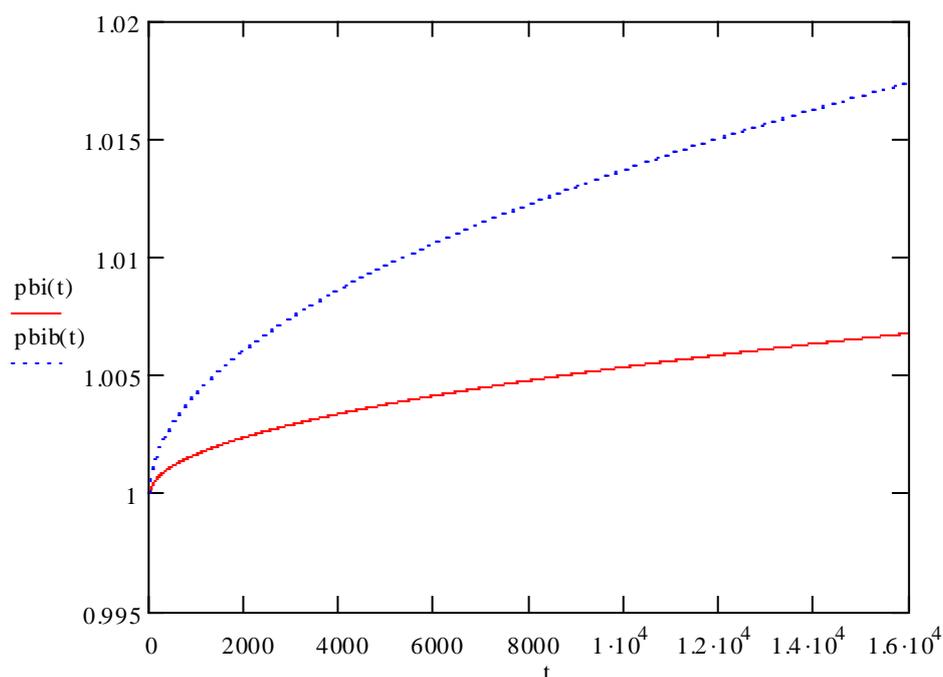


Рисунок 3 – Изменение относительной скорости $\frac{W_3}{W_0} = f(\tau)$ теплоносителя от времени для био-отложений (верхняя кривая) и отложений типа накипь

Литература

1. 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.
2. Heat Exchanger Service Guide, Lars Warlin. α - Laval Thermal A.B. Lund. Sweden. 2004.
3. Shaltens R.K., Manson L.S. 800 Hours of Operational Experience from a 2 kW Solar Dynamic System // Reports of the Space Technology and Applications International Trum 1999. – The American Institute of Physics. 1999. CP458, pp 1426-1431.
4. Справочник по теплообменникам. \ Под ред. О.Г. Мартыненко. Т.2.М.1987.–352 с.