

Анипко О.Б., Новиков А.И., Савченко В.А.

**О ВЛИЯНИИ ФАКТОРА УНОСА НА ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ  
ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ  
ТЕПЛООБМЕННИКА**

Методы теплового и гидравлического расчета ПТА базируются на положениях гидродинамики и теплопередачи и хорошо отработаны. Поэтому расчет и выбор поверхности теплообмена для заданных значений расходов теплоносителей и температур не вызывают затруднений. Однако, расчетное значение теплопередающей поверхности, полученное на основании этих точных методов, может быть увеличено на 20–200 % на основе данных об эксплуатации с учетом отклонений и добавлению к термическому сопротивлению теплопередачи рекомендуемых констант термического сопротивления слоя отложений [2].

До настоящего времени данные о термическом сопротивлении отложений носили рекомендательный характер, были отрывочными, слабо систематизированными, не отображали особенностей теплопередающей поверхности и условий эксплуатации, а порой были противоречивыми [4,5]. Причем, это в равной степени относится и к самому распространенному теплоносителю – воде.

Эта проблема в равной степени относится к транспортным, энергетическим, технологическим ТА и теплообменникам коммунальной энергетики. Учитывая то, что уже на этапе расчета и выбора ПТА его поверхность может быть значительно увеличена для поддержания его характеристик при эксплуатации, в ходе самой эксплуатации, в результате отложений возрастают затраты мощности на прокачивание теплоносителей, изменяются температуры, что приводит к повышению капитальных затрат и эксплуатационных расходов (не говоря уже о выходе из строя ТА в виду закупорки каналов), исследования, направленные на разработку теоретических положений и практических рекомендаций по поддержанию околорасчетного значения теплопередачи при загрязнении теплопередающей поверхности представляются актуальными.

Модель процесса образования слоя отложений в общем виде для любых отложений можно представить в виде уравнения для изменения количества загрязняющей субстанции  $dm$  в течение времени  $d\tau$ , то есть  $\frac{dm}{d\tau}$ . С другой стороны, скорость прироста массы загрязняющей субстанции представляет собой результат двух конкурирующих эффектов – потока массы отложений  $\dot{m}_z(S, \tau)$  и потока массы отложений, уносимого теплоносителем  $\dot{m}_y(S, \tau)$  [1,2,3]. Таким образом

$$\frac{dm}{d\tau} = \dot{m}_z(S, \tau) - \dot{m}_y(S, \tau), \tag{1}$$

где  $S$  – отображает специфические условия переноса загрязняющей субстанции.

Масса загрязняющей субстанции в фиксирующий момент времени определяется как

$$m = \rho_3 F \delta_3. \quad (2)$$

Разделим левую и правую части выражения (1) на площадь теплопередающей поверхности  $F$ , в результате чего получили скорость прироста массы загрязняющей субстанции, отнесенную к единице площади теплопередающей поверхности

$$\frac{dm_F}{d\tau} = \left( \dot{m}_3 - \dot{m}_y \right)_F. \quad (3)$$

Учитывая определение термического сопротивления теплопроводности слоя отложений и выражение (2), массу загрязняющей субстанции, образующей отложения на единице теплопередающей поверхности представим как:

$$m_F = \rho \delta_3 = \rho \lambda_3 R_{3F}, \quad (4)$$

тогда,

$$\frac{dm_F}{d\tau} = \rho \lambda_3 \frac{dR_{3F}}{d\tau}. \quad (5)$$

Совместное рассмотрение выражений (3) и (5) позволяет записать

$$\frac{dR_{3F}}{d\tau} = \dot{R}_3 - \dot{R}_y. \quad (6)$$

Известны теоретические решения уравнений (3) и (6) полученные Эпштейном (1978) и Таборекком (1972) [3] и некоторыми другими авторами.

Однако, эти решения получены в предположении линейной зависимости  $R_{3F}$  от времени, а также при условии, что отложения всегда интенсивнее, чем унос. Причем авторами при решениях не использовались эмпирические данные о  $R_{3F}(\tau)$ , что, по-видимому, может быть объяснено невозможностью решения, в этом случае, в аналитическом виде.

Анализ полученной двухпараметрической зависимости для термического сопротивления отложений из воды  $R_3(w, \tau)$  в виде

$$R_3(\tau, w) = (3,74 - 3,075w) \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\tau} \quad (7)$$

показывает, что в общем случае для двух фиксированных скоростей теплоносителя  $W_1$  и  $W_2$  в одном и том же ПТА термическое сопротивление слоя отложений в какой-либо фиксированный момент времени будет ниже при его работе на большей из двух скоростей теплоносителей на величину  $\Delta R$ , что иллюстрирует рисунок 1.

Из данных, приведенных на рисунке 1, следует, что в различные фиксированные моменты времени  $\Delta R$  – различны и определяются системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l|l} R_{32}^1 - R_{31}^1 = \Delta R_1; & \tau = \tau_1; \\ R_{32}^2 - R_{31}^2 = \Delta R_2; & \tau = \tau_2; \\ \hline R_{32}^n - R_{31}^n = \Delta R_n; & \tau = \tau_n. \end{array} \right. \quad (8)$$

Таким образом,  $\Delta R = f(\tau)$ .

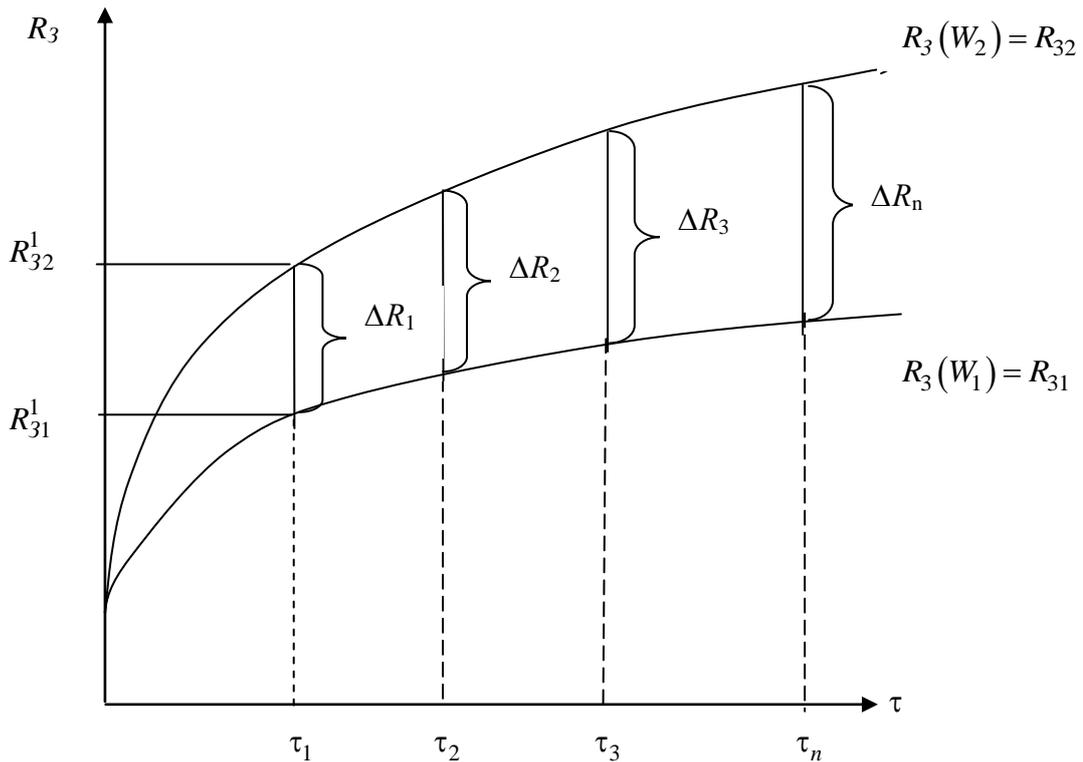


Рисунок 1 – К анализу влияния фактора уноса и образования слоя отложений

Можно предположить, что для принятых условий меньшее из двух термических сопротивлений  $R_{32}$  и  $R_{31}$  то, где скорость теплоносителя выше  $W_1 > W_2$ , и, таким образом, обусловлено влиянием уноса. Тогда  $\Delta R_{ii}(\tau)$  и представляет собой результат эффекта уноса.

Исходя из этого, и принимая во внимание, что

$$R_3(\tau, w) = c(w) \cdot \sqrt{\tau} \quad (9)$$

в общем виде эффект уноса можно представить в виде

$$\Delta R(\tau) = c(W_1)\sqrt{\tau} - c(W_2)\sqrt{\tau} = [c(W_1) - c(W_2)] \cdot \sqrt{\tau}. \quad (10)$$

Или с учетом (7) для ПТА

$$\Delta R_{ПТА}(\tau) = 3,075 \cdot 10^{-6} (W_1 - W_2) \cdot \sqrt{\tau} = 3,075 \cdot 10^{-6} \Delta W \cdot \sqrt{\tau}, \quad (11)$$

где  $\Delta W = W_2 - W_1$ .

Таким образом можно заключить, что эффект уноса является относительной величиной и показывает, на сколько меньше в фиксированный момент времени эксплуатации ПТА термическое сопротивление слоя отложений при одной скорости теплоносителя ( $W_1$ ) будет ниже, чем при другой ( $W_2$ ). Это, в свою очередь позволяет, путем повышения скорости увеличивать унос, и, тем самым, управлять процессом изменения термического сопротивления загрязнений при эксплуатации ПТА, достигая требуемых межсервисных интервалов.

### Литература

1. Анипко О.Б. Рациональные теплообменные поверхности. Харьков: ХВУ., 1998. 197 с.
2. Анипко Б.В. Проблема загрязнения теплообменных устройств и прогнозная оценка их термического сопротивления теплопередаче. Препринт ИПМаш АН УССР. Харьков, 1987 г.
3. Shan R.K. Dušan P. Sehulič. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Wiley. New York. 2004. p. 876.
4. Fouling of Heat Exchanger surfaces. / Editor Richard W. Bryers. Pennsylvania. USA. 1982.
5. Understanding Heat Exchanger Fouling and Its Mitigation / Editor T.R. Bott. University of Birmingham. U.K., 1997.

УДК 621.165

Аніпко О.Б., Новіков А.І., Савченко В.А.

### **ПРО ВПЛИВ ФАКТОРА ВІДНЕСЕННЯ НА ТЕРМІЧНИЙ ОПІР ВІДКЛАДЕНЬ НА ПОВЕРХНІ ТЕПЛООБМІННИКА**

У роботі отримано закономірності зміни термічного опору відкладень від часу та швидкості теплоносія.

Anipko O.B., Novikov A.I., Savchenko V.A.

### **ABOUT INFLUENCE OF THE FACTOR OF ABLATION ON THERMAL RESISTANCE OF ADJOURNMENT ON THE HEAT-TRANSMITTING SURFACE OF THE HEAT EXCHANGER**

In work laws of change of thermal resistance of a layer of adjournment from time and speed of the heat-carrier are received.