



НЕЧЕТКАЯ ПРОЦЕДУРА ОЦЕНИВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Илюнин О.О., Селяков А.М., Шамраев А.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Введение. Большинство объектов, где установлены пластинчатые теплообменные аппараты (ПТА), характерны тем, что эффективность их функционирования со временем падает по двум основным причинам: засорение коллекторов и загрязнение теплопередающей поверхности после определенного периода эксплуатации, снижающие интенсивность теплообмена.

Целью настоящей работы является разработка методики нечеткого оценивания величины загрязнений на поверхностях ПТА для повышения эффективности работы последних.

Как правило, протекание процесса теплообмена кристаллическое загрязнение имеет комбинированную природу – диффузионную и химическую. Традиционно классический закон для диффузионной природы отложений описывается уравнением

$$\dot{m}_f = B_m \cdot (k_{con} - k_w), \quad (1)$$

где \dot{m}_f – интенсивность выпадения отложений в единицу времени; B_m – коэффициент массопереноса; k_{con} – концентрация данного вида загрязнителя в потоке; k_w – концентрация загрязнителя на границе стенка – поток раствора. Классический закон для химической реакции представляется как

$$\dot{m}_f = K_R \cdot (k_w - k_s)^n, \quad (2)$$

где k_s – концентрация насыщения потока раствора; K_R и n – константа реакции и показатель степени. Если процесс загрязнения комбинированный, то исключив из уравнений (1) и (2) k_w , например для $n = 2$, можно получить

$$\dot{m}_f = B_m \cdot \left[\frac{1}{2} \left(\frac{B_m}{K_R} \right) + (k_{con} - k_s) - \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{B_m}{K_R} \right)^2 + \left(\frac{B_m}{K_R} \right) \cdot (k_{con} - k_s)} \right]. \quad (3)$$

Выражения (1) – (3) представляют собой традиционные «классические» соотношения для определения весового отложения депозита на поверхности ПТА. Основным недостатком такой модели является отсутствие в каждом конкретном случае какой-либо информации о входящих в соотношения значениях постоянных величин.

Нечеткая процедура оценивания. На эффективность работы ПТА, при прочих установленных постоянных значениях температуры – t и скорости прокачиваемых сред – q влияет толщина слоя отложений – Δd , осаждающихся на пластинах ПТА.

Более того, будучи, по сути, электролитами, теплоагенты в связи с накоплением ионов солей в обратном цикле, изменяют сопротивление со временем, что можно представить монотонной функцией $\Delta R(t)$. Эти



изменения, оцениваемые с помощью нечетких интервалов, являются значимым возмущающим фактором неопределенности.

При достижении критической толщины отложения на поверхности пластины ПТА система перестает функционировать или становится неэффективной. Данный динамический процесс можно характеризовать временной монотонной неубывающей функцией $d(t)$, ограниченной сверху величиной $\sup(d(t))$, входящей в класс значимых факторов критерия эффективности работы ПТА. Причем K – эффективность ПТА ограничивается до:

$$K(d(t) = \sup(d(t))) = K_{\min}, \quad (4)$$

В связи с невозможностью точных оперативных измерений величины отложений $d(t)$ на пластинах ПТА, предложен проекционный подход нечеткой оценки этих значений в виде лингвистической переменной. Фаззификация состояний, выраженных образованием отложений на пластинах ПТА, решена путем построения нечетких LR-интервалов, вырожденных до стандартных S-функций принадлежности с областью значения на интервале $[0, 1]$. Состояния нечетко описаны с помощью функции возможности $\pi_n(z_m)$ с областью значений на интервале $[0,1]$, определяющей степень возможности отнесения состояния ПТА к n-му классу по значению признака $z_m = \square Y$ в сформированном классификаторе состояний ПТА. Функция $\pi_n(z_m)$ определяет степень соответствия (возможности отнесения) m-го значения измерения z_m , лежащего в нечетком LR-интервале $\square Y_m = [Y_m - y_m; Y_m + y_m]$, к n-му классу по значению признака, характеризующего закономерности количественного проявления изменений состояния ПТА.

Выводы. Предложенная процедура позволяет при известных характеристиках потока теплоносителя и параметрах ПТА нечетко определять толщину слоя отложений по изменению электрической проводимости объекта «ПТА-теплоагент» в течение срока эксплуатации пластинчатого теплообменника. Испытания по применению данной методики, проведенные в сезон отопления 2014г. на ПТА М10 мощностью 3,4Гкал/ч (г.Харьков, ЧАО «Топливный Центр Роганского Промузла»), показали экономическую целесообразность доработки процедуры до системы управления автоматической промывкой ПТА. Учитывая, что стоимость разовых регламентных работ по промывке ПТА М10 составляет около 9000 грн., а после диагностированной по представленной процедуре промывки коэффициент теплопередачи вырос на 12%, то за 17 суток работы после оперативного регламента ПТА было сэкономлено около 16000 Гкал с себестоимостью производства около 500грн./Гкал – итого около 80000 грн. Существующие готовые решения в данном сегменте, такие как фильтры с автоматической промывкой BWT, Multipure AP работают только по параметру давления, и не направлены на контроль эффективности ПТА или определение величины отложений на пластинах. Представленное решение может быть реализовано в виде отдельной недорогой микроконтроллерной системы управления ПТА, или как часть более крупного автоматизированного комплекса, что повысит эффективность использования тепловых ресурсов.