

УДК 621.565.952

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКЕ

Колос В.М.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Тарасевич Л.А.

Теплообменные аппараты поверхностного типа на предприятиях энергетики имеет широкое применение. В качестве теплоносителя используются горячая вода, пар, продукты нефтепереработки. По принципу действия рекуперативные теплообменные аппараты делятся на непрерывного и периодического действия. Они применяются в стационарных энергетических, теплофикационных и промышленных теплоиспользующих установках.

К рекуперативным теплообменным аппаратам непрерывного действия относятся: кожухотрубные теплообменные аппараты (горизонтальные и вертикальные), змеевиковые, спиральные теплообменники с ребристыми и гофрированными пластинчатыми поверхностями нагрева.

К рекуперативным теплообменным аппаратам периодического действия относятся: водоподогреватели-аккумуляторы, автоклавы, вулканизаторы, варочные котлы, конвекторы и подобные им теплообменники.

Эффективность работы всех перечисленных теплообменных аппаратов зависит от загрязнений отложениями поверхностей нагрева, что приводит к увеличению термического сопротивления этих поверхностей. Перспективным средством очистки поверхностей теплообмена от отложений является применение ультразвуковой очистки, что ведет к повышению коэффициента теплопередачи теплообменника.

Площадь поверхности нагрева теплообменного аппарата ( $F$ ) определяется по общеизвестной формуле:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t}, \quad (1)$$

где:

$Q$  – теплопроизводительность аппарата, Вт;

$K$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>•°С);

$\Delta t$  – температурный напор, °С.

Коэффициент теплопередачи ( $K$ ) поверхностных теплообменных аппаратов с учетом загрязнений определяется по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2)$$

где:

$\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты теплоотдачи между первичным и вторичным теплоносителями и стенкой, Вт/(м<sup>2</sup>•°С);

$\frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}}, \frac{\delta_3}{\lambda_3}$  – термическое сопротивление стыка трубок и слоя загрязнения;

$\lambda_{ст}, \lambda_3$  – теплопроводность стенки трубки и слоя загрязнения, Вт/(м•°С);

$\delta_{ст}, \delta_3$  – толщина стенки трубки и слоя загрязнения, м.

Для определения влияния отложений на коэффициент теплопередачи от стенки к нагреваемой жидкости (в данном случае – мазута) проведены расчеты при их различной толщине.

Результаты этих расчетов представлены в таблице 1

Таблица 1

Коэффициент теплопередачи в зависимости от толщины загрязнений стенок теплообменного аппарата

| $\alpha_2$<br>$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ | $\delta_3 = 0$   | $\delta_3 = 0,1$<br>мм                                 | $\delta_3 = 0,3$<br>мм                                 | $\delta_3 = 0,5$<br>мм                                 | $\delta_3 = 1,0$<br>мм                                 | $\delta_3 = 1,5$<br>мм                                 | $\lambda_3$<br>$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$ |
|--|--|--|--|--|--|--|---|
|  | $k,$<br>$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ | $k,$<br>$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ | $k,$<br>$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ | $k,$<br>$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ | $k,$<br>$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ | $k,$<br>$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ |   |
| 290  | 276,1  | 223,9  | 160,1  | 120,6  | 77,5   | 55,7   | 0,12  |
| 174  | 170,5  | 148,5  | 118,3  | 94,6   | 65,8   | 49,9   |   |
| 58   | 56,8   | 54,5   | 49,9   | 45,2   | 37,1   | 31,3   |   |
| 290  | 276,1  | 244,6  | 200,1  | 167  | 121,5  | 92,8   | 0,23  |
| 174  | 170,5  | 157,5  | 136,9  | 120,6  | 94   | 76,1   |   |
| 58   | 56,8   | 56,0   | 52,2   | 55,6   | 45,4   | 40,5   |   |
| 290  | 276,1  | 256,4  | 223,9  | 197,2  | 149,6  | 118,3  | 0,35  |
| 174  | 170,5  | 162,4  | 148,5  | 136,9  | 112,5  | 94   |   |
| 58   | 56,8   | 56,8   | 54,5   | 52,9   | 48,7   | 45,2   |   |
| 290  | 276,1  | 261  | 303,9  | 211  | 168,2  | 139,2  | 0,46  |
| 174  | 170,5  | 164,7  | 154,3  | 143,8  | 121,8  | 105,6  |   |
| 58   | 56,8   | 55,7   | 55,3   | 53,9   | 50,6   | 47,6   |   |

Как видно из таблицы 1, значение коэффициента теплопередачи в значительной мере снижается в зависимости от толщины загрязнений.

Например, для коэффициента теплоотдачи от поверхности трубы  $\alpha_2 = 58$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C) и коэффициента теплопроводности загрязнений  $\lambda_3 = 0,12$  Вт/(м·°C) коэффициент теплопередачи для труб с толщиной загрязнений  $\delta = 1,5$  мм в сравнении с чистой поверхностью трубы снижается на 45 % ( $K_{\delta=0} = 56,8$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); ( $K_{\delta=1,5} = 31,3$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C)).

Эффективным средством очистки поверхностей теплообмена от отложений является использование ультразвуковой аппаратуры. Способ ультразвуковой очистки заключается в применении упругих колебаний ультразвуковой частоты, возбуждаемых импульсным генератором и передаваемых объекту очистки с помощью магнитострикционного преобразователя, который крепится к крышке теплообменника или к трубной доске.

Экспериментальные исследования были проведены на теплообменных аппаратах для подогрева мазута. Магнитострикционные преобразователи устанавливались на продольной оси теплообменника в центре передней

крышки и соединялись с трубной доской. Нагрев мазута производился паром при давлении 0,6 МПа с температурой 170 °С. Очистка производилась 1 раз в 5–6 месяцев. Расход пара на подогрев 1 т мазута до внедрения ультразвуковой очистки составил 0,122 т или 0,288 ГДж/т. Расход пара на подогрев мазута после внедрения ультразвуковой очистки составил 0,0676 т/т или 0,159 ГДж/т. Снижение расхода пара составило 45 %.

Приведенные результаты исследований подтверждают эффективность применения ультразвуковой очистки поверхностей теплообменных аппаратов, применяемых на предприятиях различных отраслей народного хозяйства.