

УДК 621

Е. И. ХАРЛОВА, С. П. ВЫСОЦКИЙ

Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ «ДонНТУ»

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗА СЧЁТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА

Рассмотрены методы снижения энергопотребления за счёт повышения эффективности теплообмена на теплопередающих поверхностях при подготовке воды. Показано, что интенсивность и характер загрязнения отложениями накипи определяются качеством воды и её температурой. Загрязнение пластинчатых теплообменных аппаратов с высоким расчетным коэффициентом теплопередачи сопровождается значительным снижением тепловой эффективности аппарата и повышением температуры стенки. Один и тот же по толщине и химическому составу слой накипи оказывает существенно разное влияние на тепловую эффективность теплообменных аппаратов, различных по конструкции и режимам работы. Представлено характеристики изменения относительной тепловой эффективности загрязненного теплообменного аппарата от толщины слоя накипи при различных значениях коэффициента теплопередачи чистого теплообменника.

накипеобразование, теплообменник, коэффициент теплопередачи, осаждение, термическое сопротивление, произведение растворимости

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время на предприятиях энергетики совместно с традиционными источниками тепла применяются возобновляемые источники энергии, тепловые насосы, установки когенерации и полигенерации. В связи с этим в промышленности и коммунальном секторе возникают новые задачи эффективной рекуперации тепла. Для решения этих задач рассмотрим наиболее эффективное теплообменное оборудование – пластинчатые теплообменные аппараты (ПТА). Благодаря своим достоинствам разборные ПТА активно вытесняют из отечественных систем теплоснабжения традиционные трубчатые теплообменники. По сравнению с трубчатыми пластинчатые теплообменники обладают в несколько раз более высоким начальным коэффициентом теплопередачи, однако становятся гораздо «чувствительнее» к влиянию отложений накипи, термическое сопротивление которое значительно уменьшает теплопередачу. При высоком содержании накипеобразующих солей и продуктов коррозии в воде, характерном для большинства регионов нашей страны, расчетный режим работы ПТА быстро нарушается, уменьшение коэффициента теплопередачи компенсируется повышением температуры греющего теплоносителя или его расхода. Снижение уровня коррозионных отложений в ПТА возможно путем применения достаточно коррозионно устойчивой стали, что может быть значительно экономнее, чем для кожухотрубчатых аппаратов из-за меньшей площади поверхности для одинаковых условий и более тонкой стенки пластин, вплоть до 0,5–0,3 мм.

Коэффициент теплопроводности накипи имеет весьма низкое значение, то даже незначительный слой отложений создает большое термическое сопротивление (слой котельной накипи толщиной 1 мм по термическому сопротивлению примерно эквивалентен 40 мм стальной стенки).

Однако один и тот же по толщине и химическому составу слой накипи оказывает существенно разное влияние на тепловую эффективность теплообменных аппаратов, различных по конструкции и режимам работы. Тепловая эффективность загрязненного теплообменника по отношению к такому же теплообменнику с чистой поверхностью характеризуется отношением коэффициентов теплопередачи (k/k_0), которое определяется по формуле (1):

$$\frac{k}{k_0} = \frac{1}{1 + k_0 \cdot \frac{\delta_{\text{накип}}}{\lambda_{\text{накип}}}}, \quad (1)$$

где $\delta_{\text{накип}}$, $\lambda_{\text{накип}}$ – эквивалентная толщина слоя отложений и его коэффициент теплопроводности.

На практике обнаруживается неравномерное загрязнение пластин и отдельных каналов по ширине, длине и высоте подогревателя, что связано, очевидно, с неравномерностью полей температур и скоростей теплоносителя. Коэффициент теплопроводности накипи, в зависимости от плотности и химического состава отложений изменяется в широких пределах 0,13 – 3,14 Вт/(м² · °С).

Теплообменник с высоким расчетным (конструктивным) значением коэффициента теплопередачи (k_0) значительно более чувствителен к загрязнению, чем теплообменник с низким расчетным коэффициентом теплопередачи (т. е. его коэффициент теплопередачи при одном и том же загрязнении уменьшается на большую долю). Традиционно применявшиеся в отечественной теплоэнергетике кожухотрубные водоподогреватели (с гладкими трубками), как известно, выбирались с невысоким коэффициентом теплопередачи в расчетном режиме – на уровне 800–1 200 Вт/(м² · °С). При толщине слоя накипи $\delta_{\text{накип}} = 0,3$ мм такой теплообменник имеет относительную тепловую эффективность (k/k_0) = 0,8, что вполне приемлемо. Для пластинчатых аппаратов, которые, как правило, из соображений экономии выбираются с высоким расчетным коэффициентом теплопередачи – 5 000–7 000 Вт/(м² · °С). При той же толщине слоя накипи $\delta_{\text{накип}} = 0,3$ мм этот теплообменник уже будет иметь отношение (k/k_0) = 0,4, т. е. коэффициент теплопередачи, заявленный изготовителем, снизится в 2,5 раза.

Для загрязнений при накипеобразовании существуют некоторые критические условия по температуре воды и содержанию солей, после которых начинается образование накипи. Таким образом, когда в контуре охлаждающей воды предприятия возможно образование накипи, температура на выходе из ПТА должна оставаться менее определенного уровня, который зависит от качества охлаждающей воды этого предприятия. Соединения будут осаждаться на поверхностях нагрева в определенной последовательности, которую можно выявить исходя из их произведений растворимости.

Соотношение концентраций CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} в растворе, при которых начинают отлагаться соединения накипи характеризуются следующим.

1. Вероятность выпадения в осадок гипса при подогреве воды до 100 °С:

$$\frac{SO_4^{2-}}{CO_3^{2-}} \geq \frac{1 \cdot 10^{-5}}{4,7 \cdot 10^{-10}} \geq 2,13 \cdot 10^4,$$

следовательно, гипс выпадает в осадок, если концентрация $SO_4^{2-} \geq CO_3^{2-}$ в 21 300 раз.

2. Вероятность выпадения в осадок карбоната магния:

$$\frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+}} \geq \frac{9,8 \cdot 10^{-8}}{4,7 \cdot 10^{-10}} \geq 208,5,$$

следовательно, карбонат магния выпадет в осадок, если концентрация $Mg^{2+} \geq Ca^{2+}$ в 208,5 раз.

ВЫВОДЫ

1. Поверхности нагрева ПТА подвержены загрязнению отложениями накипи, окислов железа и других механических примесей, содержащихся в сетевой воде. Интенсивность и характер загрязнения определяется качеством воды (жесткостью, концентрацией примесей) и температурой её подогрева. Загрязнение ПТА с высоким расчетным коэффициентом теплопередачи сопровождается значительным снижением тепловой эффективности аппарата и повышением температуры стенки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михеев, М. А. Основы теплопередачи [Текст] / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : Энергия, 1973. – 343 с.
2. Высоцкий, С. П. Надежность работы систем теплофикации и технология обработки подпиточной воды [Текст] / С. П. Высоцкий, Д. Н. Бут // Сантехника, опалення, кондиціонування (СОК) : Щомісячний спеціалізований журнал. – К. : Медіа Технолоджи, 2007. – № 7. – С. 12-15.
3. MacAdam, Jitka. The Effect of metal Ions on Calcium Carbonate Precipitation and Scale Formation [Текст] / Jitka MacAdam and Simon A. Parsons // Sustainability in Energy and Buildings / Editors: Robert J. Howlett, Lakhmi C. Jain, Shaun H. Lee. – Berlin : Springer, 2009. – P. 137–146.

4. Hajibi, S. H. Calcium carbonate Scale Formation During Subcooling Flow Boiling [Текст] / S. H. Hajibi, M. Jamialahmadi and H. Muller-Steinhagen // Journal of Heat Transfer. – 2007. – Volume 119, Issue 4. – P. 767–775.

Получено 01.04.2015

Є. І. ХАРЛОВА, С. П. ВИСОЦЬКИЙ
ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЗА РАХУНОК ПІДВИЩЕННЯ
ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛООБМІНУ

Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ»

Розглянуто методи зниження енергоспоживання за рахунок підвищення ефективності теплообміну на теплопередавальних поверхнях при підготовці води. Показано, що інтенсивність і характер забруднення відкладеннями накипу визначаються за якістю води та її температурою. Забруднення пластинчастих теплообмінних апаратів з високим розрахунковим коефіцієнтом теплопередачі супроводжується значним зниженням теплової ефективності апарата і підвищенням температури стінки. Один і той же за товщиною і хімічним складом шар накипу істотно по різному впливає на теплову ефективність теплообмінних апаратів, різних за конструкцією і режимами роботи. Представлено характеристики зміни відносної теплової ефективності забрудненого теплообмінного апарата від товщини шару накипу при різних значеннях коефіцієнта теплопередачі чистого теплообмінника.

накипоутворення, теплообмінник, коефіцієнт теплопередачі, осадження, термічний опір, добуток розчинності

EKATERINA KHARLOVA, SERGEY VYSOTSKY
REDUCING ENERGY CONSUMPTION BY INCREASING THE EFFICIENCY OF
HEAT EXCHANGE

Automobile and Road Institute SHEI «DonNTU»

The methods of reducing energy consumption by increasing the heat exchange efficiency of the heat transfer surfaces in the preparation of water are considered. It is shown that the intensity and nature of the pollution scale deposits determined by the quality of water and its temperature. Pollution plate heat-exchange devices with high heat transfer coefficient calculation are accompanied by a significant reduction in the thermal efficiency of the apparatus and an increase in wall temperature. The same thickness and chemical composition of the layer of scale has significantly different effects on the thermal efficiency of heat exchangers, different in structure and mode of operation. The characteristic changes in the relative thermal efficiency contaminated heat exchanger on the thickness scale for different values of the heat transfer coefficient of the heat exchanger clean.

scale formation, a heat exchanger, the heat transfer coefficient, precipitation