

УДК 536:519.8

**Р. Коцюрко, І. Лучейко**

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

## ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛООБМІНУ В ТРУБАХ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРИ УТВОРЕННІ НАКИПУ

У процесі експлуатації труб гарячого водопостачання на внутрішній поверхні утворюється нашарування різних речовин [нерозчинні у воді солі, в основному  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg(OH)}_2$ , технологічні домішки тощо], так званий накип, який відіграє роль «негативного» теплоізолятора. Це приводить до збільшення термічного опору процесу теплопередачі, що зі сучасної точки зору енергозбереження недопустимо.

Крім того, через зменшення поперечного перерізу трубопроводу збільшується (при заданій витраті) середня лінійна швидкість потоку теплоносія, що веде до росту гідравлічного опору, а отже, додаткових затрат енергії.

Кінцева мета роботи – аналітичний розрахунок впливу геометричних і теплових параметрів на ефективність теплопередачі трубами гарячого водопостачання; вибір можливого «енергетичного» критерію для оцінки максимально допустимого ступеня забруднення внутрішньої поверхні.

Загальний лінійний термічний опір  $R_l = R / l$  при утворенні накипу в одиночній циліндричній трубі з гарячим теплоносієм рівний сумі часткових опорів

$$2\pi R_l = \frac{2\pi}{k_l} = \frac{1}{\alpha_1 (r_0 - \delta)} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{r_0}{r_0 - \delta} + \frac{1}{\lambda_0} \ln \frac{R_0}{r_0} + \frac{1}{\alpha_2 R_0}, \quad (1)$$

де  $k_l$  – лінійний коефіцієнт теплопередачі;  $l = 2\pi r$  – довжина відповідної циліндричної поверхні;  $\alpha_1, \alpha_2$  – коефіцієнти тепловіддачі від теплоносія до внутрішньої поверхні накипу та від зовнішньої поверхні труби до навколишнього середовища (НС);  $r_0, R_0$  – внутрішній і зовнішній радіуси труби;  $\delta$  – товщина накипу;  $\lambda_0, \lambda = 1,75 \hat{\Delta} \delta / (\hat{i} \cdot \hat{E})$  – коефіцієнти теплопровідності матеріалів труби та накипу.

Різниця опорів між чистою ( $\delta = 0, \alpha_i = \alpha_{oi}, k_l = k_{ol}$ ), і брудною трубою в безрозмірній формі

$$2\pi \Delta \bar{R}_l = 2\pi \alpha_{o2} R_0 (R_l - R_{ol}) = \frac{\alpha_{o2} R_0}{\alpha_{o1} r_0} \cdot \frac{\varepsilon_{\alpha 1}(x) + x}{1 - x} + \frac{\alpha_{o2} R_0}{\lambda} \ln \frac{1}{1 - x} + \varepsilon_{\alpha 2}(x) \geq 0, \quad (2)$$

де  $\varepsilon_{\alpha(i)} = \alpha_{oi} / \alpha_i - 1$  – відносне значення коефіцієнтів тепловіддачі;  $0 \leq x = \delta / r_0 \leq 1$  – симплекс товщини накипу та внутрішнього радіуса труби – ступінь забруднення ( $x = 0$  – відсутність накипу,  $x = 1$  – труба повністю забита накипом).

За «негативний» критерій енергоефективності теплообміну вибрано відносне відхилення значень опорів; зрозуміло, що відповідне відхилення коефіцієнтів теплопередачі  $\varepsilon_k = \Delta k_l / k_{ol} \leq 0$  буде «позитивним» критерієм: чим більше (за модулем) значення, тим вища ефективність передачі тепла від теплоносія до НС

$$\varepsilon_R = \Delta \bar{R}_l / \bar{R}_{ol} = -\varepsilon_k / (1 + \varepsilon_k) \leq \varepsilon_{R \max}^{\hat{a} \hat{i} \hat{E}}. \quad (3)$$

Подальший розрахунок допустимих значень  $\varepsilon_R(x)$  зводиться до визначення залежностей  $\varepsilon_{\alpha(i)}(x)$  на основі відомих критеріальних рівнянь тепловіддачі при вимушеному русі рідини в трубах:  $\text{Nu}(\alpha) = f(\text{Re}, \text{Pr}, \text{Gr})$ .