

6. Міжфазне тертя низхідних пароводяних та паросиропних потоків

Максим Андрієнко, Валентин Петренко, Олександр Рябчук
Національний університет харчових технологій

Вступ. В залежності від співвідношення фаз проявляються три характерні режими взаємодії пристінної плівки з газовим потоком, які зафіксовано практично всіма дослідниками, що здійснювали експериментальні дослідження на вертикальних трубах різних діаметрів та довжин з вдуванням повітря [1, 2 та ін.]. Аналогічний характер залежності міжфазного гідравлічного опору було зафіксовано і для парорідинних потоків [3].

В плівкових випарних апаратах тертя парового потоку відбувається об поверхню розчинів різної концентрації. Тому закономірності міжфазного тертя можуть дещо відрізнятись від адіабатних повітря-водяних потоків.

Методи досліджень. Для з'ясування питань опору паровому потоку в середовищі стікаючих густих розчинів та води виконано експериментальні дослідження на стенді, дослідна ділянка якого складала 1,8 м з труби із нержавіючої сталі з внутрішнім діаметром 20 мм з незалежним формуванням витрат фаз. Модельними рідинами виступали вода та цукрові розчини з концентрацією до 72%.

Результати. Аналіз результатів міжфазного тертя в пароводяних та паросиропних потоках при незначному надлишковому тиску та розрідженні в трубі діаметром 20 мм, а також даних інших авторів для повітря-водяних потоків в трубах діаметрами відповідно 13, 34, 50 мм дозволив отримати розрахункове рівняння для визначення коефіцієнта міжфазного тертя ξ_i у формі:

$$\xi_i = \xi_1 + \frac{627 \left(\frac{d_o}{d} \right)}{Fr_2^{1,26} \left\{ \exp \left[\frac{1}{\left(Fr_2 - H^{1,1} \sqrt{\frac{d}{d_o}} \right) \cdot 1,25 \cdot 10^{-2} K_8^{1,5}} \right] - 1 \right\}}$$

де $\xi_1 = \xi_c + 3 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-2} K_8$ – коефіцієнт гідравлічного тертя для першої зони;
 $\xi_c = \frac{0,316}{Re_2^{0,25}}$ – коефіцієнт гідравлічного тертя сухої стінки;

$$K_{\delta} = \sqrt[6]{\frac{\Gamma_v^3 V}{g^2}} \sqrt{\frac{g \rho}{\sigma}}; \quad H = \sqrt{\frac{\rho \sigma}{g d^2 \rho_2^2}}; \quad Fr_2 = \frac{u_2^2}{g d}; \quad u_2 - \text{приведена до перерізу}$$

труби швидкість пари; $d_o = 0,013 \text{ м}$; σ – поверхневий натяг.

Отримані дані підтвердили традиційний характер взаємодії пристінної плівки з паровим ядром потоку з трьома характерними режимами. Залежність коефіцієнта міжфазного тертя в залежності від витратних характеристик парового ядра для нагрітої до температури насичення води та цукрового сиропу з концентрацією 70% зображена на рис.1, а і б, відповідно. З наведених графіків видно, що чим вища щільність зрошення, тим за меншої швидкості газу здійснюється перехід до режиму сильної взаємодії і тим крутіше перехідна крива.

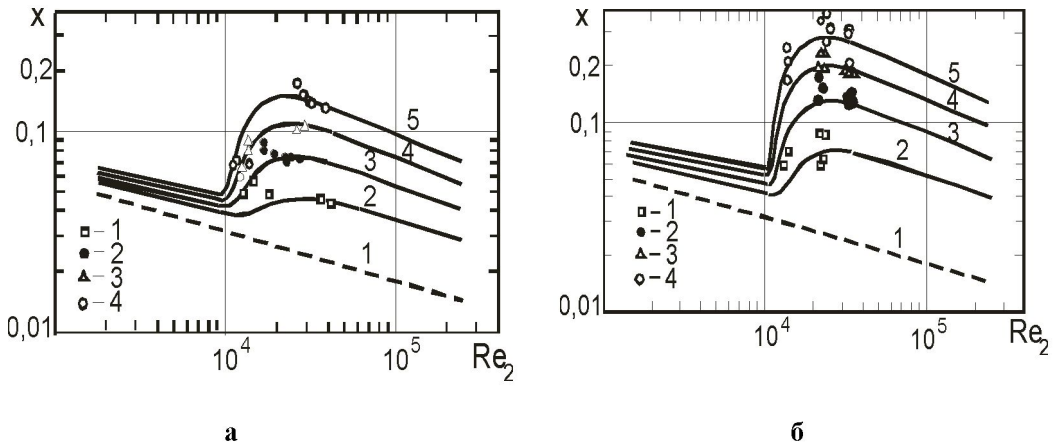


Рис. 1. Залежність $\xi = f(Re_2)$ для пароводяного потоку при $d = 0,02 \text{ м}$; $L = 1,8 \text{ м}$: а – пароводяний потік, б – паросиропний потік при $CP = 70\%$;

точки: 1 – $\Gamma_v = 0,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{М}^2}{\text{с}}$; 2 – $1,5 \cdot 10^{-4}$; 3 – $3 \cdot 10^{-4}$; 4 – $5 \cdot 10^{-4}$; лінії відповідають розрахунку за отриманим співвідношенням за витрат: 2 – $\Gamma_v = 0,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{М}^2}{\text{с}}$; 3 – $1,5 \cdot 10^{-4}$; 4 – $3 \cdot 10^{-4}$; 5 – $5 \cdot 10^{-4}$.

Лінія 1 відповідає гідравлічному опору сухої стінки

Висновки. Виконано узагальнення результатів досліджень міжфазного гідравлічного тертя в кільцевих низхідних потоках води та цукрових розчинів при незначному надлишковому тиску та розрідженні і наведено відповідне емпіричне рівняння, яке дійсне як для адіабатних, так і діабатних потоків в трубах діаметрами від 13 до 50 мм.

Література

1. Максимов В.В. Исследование гидродинамики нисходящего кольцевого течения газа и пленки жидкости [Текст] : дис. канд. техн. наук. /В.В Максимов. – М., 1980. – 156 с.
2. Чен Ше-Фу. Потери напора и толщина жидкости пленки при кольцевом двухфазном чисто пленочном течении с образованием эмульсии [Текст] /Ше-фу Чен, Ибеле // Тр. Амер. об-ва инж.- мех. – Теплопередача сер. С. 1964. – № 1. – С. 116-125.
3. Василенко С.М. Теплообмін в паро рідинних течіях теплообмінних апаратів харчових виробництв : автореф. дис.докт. техн. наук./ С.М. Василенко.-К., 2003.– 37с.