

ТЕПЛОМАСООБМІН У ГАЗОРІДИННИХ ПОТОКАХ ПРИ ПРЯМОТОКОВОМУ НИЗХІДНОМУ РУСІ

Д. т. н. В. О. Туз¹, к. т. н. Н. Л. Лебедь¹, Я. Є. Трокоз¹, І. К. Лебедь²

¹НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

²Інститут відновлюваної енергетики НАН України

Україна, м. Київ

valeriituz56@gmail.com, nata.lebeddom@gmail.com,

yar_t@voliacable.com, ultravires.lebedigor@gmail.com

На основі експериментальних досліджень процесу тепломасообміну при низхідному прямотоковому русі газорідинних систем уточнено математичну модель процесу тепломасообміну в умовах повного та неповного зрошення поверхні контакту. Представлено залежності для визначення мінімальної густини зрошення при низхідному прямотоковому русі газорідинних систем.

Ключові слова: сітчасте покриття, густина зрошення, тепловіддача, масовіддача.

У хімічній і нафтохімічній промисловості набули широкого застосування тепломасообмінні апарати контактного типу, які мають певні переваги перед іншими конструкціями теплообмінного обладнання: велике значення питомої поверхні контакту в одиниці об'єму, мінімальний термічний опір процесу тепломасообміну. Проте діапазон їх роботи обмежується кризовими явищами гідродинамічного характеру: верхня границя пов'язана з явищем захлинання, яке виникає при протитоковому русі висхідного потоку газу і гравітаційно стікаючої плівки; нижня границя обумовлена порушенням суцільності течії плівки при зменшенні густини зрошення, що призводить до утворення сухих плям, наявність яких зменшує дійсну площу контакту взаємодіючих фаз. При організації протитечійної схеми руху теплоносіїв швидкість газового потоку обмежується значенням критерію стійкості $K = 3,2$, що відповідає діапазону швидкості до 3,5 м/с [1]. У прямотокових апаратах кризове явище у вигляді захлинання відсутнє, що дозволяє значно збільшити діапазон сталої роботи обладнання до 15...25 м/с. Метою дослідження було визначення впливу параметрів газового потоку на мінімальну густину зрошення гравітаційної плівки рідини.

Мінімальна густина зрошення залежить від фізико-хімічних властивостей плівки рідини і характеристик поверхні стінки каналу, які впливають на адгезію між плівкою і поверхнею та гідродинаміку плівкової течії. Використання пористих і сіткових матеріалів дозволяє впливати на взаємодію газового потоку і плівки рідини завдяки дії капілярних ефектів і, як наслідок, розширювати діапазон роботи апарату.

Для визначення впливу швидкості газового потоку на мінімальну густину зрошення гравітаційної плівки рідини у каналі з сітчастим покриттям були проведені експериментальні дослідження по визначенню мінімальної товщини плівки у статичних умовах ($Re_{пл.0}$) та при різних швидкостях газу.

Узагальнення експериментальних даних дозволило отримати емпіричну залежність мінімальної густини зрошення ($Re_{пл. min2}$) від швидкості газового потоку (Re_r) при течії плівки рідини в каналах з сітчастим покриттям:

$$Re_{пл. min2} = Re_{пл.0} + 0,31 Re_r^{0,4}. \quad (1)$$

В ході експерименту швидкість газового потоку змінювалась у діапазоні від 3,5 до 25 м/с.

З урахуванням отриманих результатів систему диференціальних рівнянь, яка описує процес випаровування плівки рідини з поверхні каналу при низхідному прямотоку, необхідно доповнити коефіцієнтом, який враховує дійсну поверхню контакту фаз:

$$\varepsilon = \frac{Re_{пл}}{Re_{пл. min2}}. \quad (2)$$

Таким чином, математична модель процесу тепломасообміну при низхідному прямолинійному русі газорідинних систем при повному і неповному зрошенні поверхні контакту [2] з врахуванням дійсної поверхні контакту фаз (2) має вигляд

$$\frac{dT_p}{dx} = -\frac{\varepsilon \rho_p \alpha_p}{G_p C_{pp}} (T_{p\delta} - \langle T_p \rangle);$$

$$\frac{dT_z}{dx} = \frac{\pi \left[\frac{d_e}{2} - \left(\frac{3\nu_p G_p}{\varepsilon \pi d_e g \rho_p} \right)^{0,33} \right] \alpha_z}{G_z C_{pz}} (\langle T_z \rangle - T_{p\delta});$$

$$\frac{d\rho_n}{dx} = \frac{\pi \left[\frac{d_e}{2} - \left(\frac{3\nu_p G_p}{\varepsilon \pi d_e g \rho_p} \right)^{0,33} \right] \rho_z \beta}{G_z} (\rho_{n\delta} - \langle \rho_n \rangle),$$

де T — температура; ρ — густина; α — коефіцієнт тепловіддачі; β — коефіцієнт масовіддачі; G — витрата; C_p — питома теплоємність; ν — кінематичний коефіцієнт молекулярної в'язкості; d_e — еквівалентний діаметр; індекси «р», «г», «п» — відносяться, відповідно, до рідини, газу та пари.

Для замикання системи використовувались результати досліджень по визначенню інтенсивності процесу тепломасообміну при низхідному русі газорідинного потоку в каналах з сітчастим покриттям, які узагальнені емпіричними залежностями:

– для тепловіддачі

$$Nu = 2,8 \cdot 10^{-2} Re_r^{0,8} Pr^{0,33}; \quad (3)$$

– для масовіддачі

$$Nu_{Dr} = 2,6 \cdot 10^{-2} Re_r^{0,8} Pr^{0,33}. \quad (4)$$

Емпіричні залежності отримані у діапазоні зміни $Re_r = 4500 \dots 18000$.

У результаті проведених досліджень отримано залежність для розрахунку мінімальної густини зрошення при низхідному прямолинійному русі газорідинних систем, рівняння (1); отримано залежності для визначення інтенсивності процесу тепломасообміну при низхідному прямолинійному русі газорідинних систем, рівняння (3) і (4); проведено уточнення математичної моделі процесу тепломасообміну при низхідному прямолинійному русі газорідинних систем при повному і не повному зрошенні поверхні контакту.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах.— Киев: Факт, 2003.

2. Туз В.Е., Кузьменко И.Н., Дикий Н.А., Трокоз Я.Е. Математическая модель теплопереноса при испарении с сетчатой насадки // Екотехнологии и ресурсосбережение.— 2001.— № 1.— С. 75—77.

V. O. Tuz, N. L. Lebed, Y. E. Trokoz, I. K. Lebed

Heat and mass transfer in downward conjoint movement of gas-liquid flow

On the basis of experimental studies of heat and mass transfer process in downward conjoint movement of gas-liquid flow, the authors clarified the mathematical model of heat and mass transfer on irrigated and dry contact surface. The paper presents dependences for determination of minimum density of irrigation in downward conjoint movement of gas-liquid flow systems.

Key words: mesh coating, irrigation density, heat transfer, mass transfer.