

УДК 536.423.1

## ТЕПЛО- І МАСООБМІН ПРИ ОХОЛОДЖЕННІ ПОВІТРЯ ГРАВІТАЦІЙНО СТИКАЮЧОЮ ІЗОТЕРМІЧНОЮ ПЛІВКОЮ

Д. т. н. В. О. Туз, к. т. н. Н. Л. Лебедь

НТУУ «Київський політехнічний інститут»  
Україна, м. Київ  
valeriy\_tuz@list.ru, natalebeddom@yandex.ua

*Для замикання напівемпіричної моделі тепло- і масообміну в двофазних кільцевих потоках необхідна інформація про закономірності зміни інтенсивності процесів випарного охолодження рідини і охолодження газу при вимушеній конвекції залежно від режимних параметрів контактуючих фаз. Експериментальні дослідження дозволили отримати залежності локальної і середньої тепловіддачі і масовіддачі для початкової теплової ділянки при ламінарному режимі течії і в перехідній області та на ділянці стабілізованого теплообміну.*

*Ключові слова: випарне охолодження рідини, вимушена конвекція, локальна і середня тепловіддача.*

Сумісна зміна характеристик контактуючих фаз значно ускладнює дослідження процесів тепло- і масообміну двофазних середовищ при вимушеній конвекції. Аналогія між процесами тепло- і масообміну часто використовуються на практиці, проте вона є тільки наближеною. При контакті гравітаційної плівки з рухомою парогазовою сумішшю, крім гідродинамічного і теплового пограничних шарів, утворюється і дифузійний пограничний шар. В межах дифузійного пограничного шару парціальний тиск пари змінюється від  $P_{п,х0}$  на поверхні плівки до  $P_{п,0}$  на зовнішній межі пограничного шару. При цьому коефіцієнти тепловіддачі і масовіддачі залежать від напряму і величини поперечного потоку маси [1]. На підставі цього не зовсім обґрунтованою є пропозиція використання залежностей для розрахунку спільно процесів тепло- і масообміну, що протікають разом при випаровуванні рідини або конденсації пари з парогазової суміші, наведених в [2, 3].

Вивчення процесів тепло- і масообміну при охолодженні газу гравітаційною плівкою в каналі з сітчастим покриттям проводилося на стенді з використанням експериментальних ділянок, які представляли собою канали з сітчастим покриттям (розмір вічка  $S = 0,5 \cdot 10^{-3}$  м), виготовленим із сталі Х18Н10Т, з діаметром каналів  $d_c = 0,0125 \dots 0,022$  м, довжиною  $L = 1$  м, в широкому діапазоні зміни режимних параметрів: швидкість газового потоку  $w = 1,29 \dots 8,94$  м/с; температура газового потоку  $t'_r = 50 \dots 150^\circ\text{C}$ .

Для виключення впливу теплоти, яка витрачається на нагрів плівки до температури насичення (зі знаком «—») і на випаровування рідини, експерименти проводилися при такій температурі плівки рідини, щоб вона зберігала свою ізотермічність. За таких умов щільність зрошування (масова витрата рідини на одиницю змоченого периметра), яка мінялася в діапазоні  $\Gamma = 7,37 \cdot 10^{-3} \dots 6,9 \cdot 10^{-2}$  кг/(м·с), не впливала на процеси тепло- і масообміну.

В результаті узагальнення експериментальних даних були отримані залежності виду:

- для процесу тепловіддачі  $Nu_r = C Re_r^n Fr_r^m Pr_r^k K_r^p A$ ;
- для процесу масовіддачі  $Nu_{Dr} = C Re_r^n Fr_r^m Pr_{Dr}^k K_r^p A$ .

Значення коефіцієнтів  $C, n, m, k, p, A$  надані у таблиці.

Емпіричні залежності отримані в діапазоні зміни чисел  $Re = 1140 \dots 8490$ . Апроксимація виконувалася методом найменших квадратів з точністю узагальнення  $\pm 12\%$ .

Основними параметрами, що впливають на інтенсивність тепловіддачі і масовіддачі при охолодженні повітря ізотермічною плівкою є швидкість повітря і його вхідна температура. Зміна швидкості повітря в діапазоні  $w = 1,29 \dots 8,94$  м/с приводило до збільшення коефіцієнтів тепловіддачі  $\alpha$  і масо-

віддачі  $\beta_p$  приблизно в 2,4 раза, причому в перехідній області темп зростання коефіцієнтів тепловіддачі і масовіддачі  $\beta_p$  декілька вище, ніж при ламінарному режимі руху газу. Початкова температура повітря також істотно впливає на інтенсивність процесу. Збільшення вхідної температури  $t'_r$  від 50 до 150°C приводить до збільшення коефіцієнтів тепловіддачі  $\alpha$  і масовіддачі  $\beta_p$  приблизно в 1,5 рази. Щільність зрошування в досліджуваному діапазоні і постійній температурі плівки в каналі не впливає на процеси тепло- і масообміну.

Значення коефіцієнтів емпіричних формул ( $\ell$  — довжина ділянки,  $x$  — координату перетину)

Ламінарний режим течії газу, $Re_r < 2230$							Перехідний режим течії газу, $2230 < Re_r < 10^4$						
С	г	п	м	к	Р	А	С	г	п	м	к	р	А
локальна тепловіддача													
3,89	x	0,5	0,2	0,33	-0,42	$(x/d_e)^{0,3}$	1,17	x	0,67	0,2	0,33	-0,42	$(x/d_e)^{0,3}$
локальна масовіддача													
2,19	x	0,5	0,2	0,33	-0,42	$(x/d_e)^{0,3}$	0,87	x	0,67	0,2	0,33	-0,42	$(x/d_e)^{0,3}$
середня тепловіддача													
5,57	$\ell$	0,5	0,2	0,33	-0,42	$(\ell/d_e)^{0,3}$	1,52	$\ell$	0,67	0,2	0,33	-0,42	$(\ell/d_e)^{0,3}$
середня масовіддача													
3,87	$\ell$	0,5	0,2	0,33	-0,42	$(\ell/d_e)^{0,3}$	0,95	$\ell$	0,67	0,2	0,33	-0,42	$(\ell/d_e)^{0,3}$

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло- и массообмена. — М.-Л.: Гознергоиздат, 1961. — 489 с.
2. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. — 320 с.
3. Берман Л.Д. Тепло- и массообмен в парогазовой фазе при интенсивном испарении жидкостей // Теплообмен и гидродинамика. — Л.: Наука, 1977. — С. 116—130.

V. E. Tuz, N. L. Lebed

#### Heat and mass exchange during cooling of the air by the gravitationally draining isothermal film.

In order to complete semi-empirical model of the heat and mass exchange in two-phase circular flows it is essential to investigate properties of the intensity changes in the process of the vapor-phase liquid cooling of liquid and gas during forced convection depending on the mode parameters of the contacting phases.

Experimental measurements presented in this work allow obtaining dependences of local and medium heat and mass transfer for initial heat area during laminar mode of the flow, as well as for transient area and the area of stabilized heat exchange.

Key words: *vapor-phase liquid cooling, forced convection, local and medium heat exchange.*