

Р.А. Ткачук, канд. техн. наук (*НУХТ, Київ*)
Л.І. Іванова, ст. викл. (*НУХТ, Київ*)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОБМІНУ ПРИ СТРУМЕНЕВОМУ ЗРОШЕННІ ПОВЕРХОНЬ НАГРІВАННЯ

Одним із найбільш перспективних способів підвищення ефективності роботи плівкових апаратів є використання в них струменевої генерації плівки. Утворена в цьому випадку плівка більш стійка, ніж при гравітаційній течії в довгих трубах, де є можливість її відслоювання і зриву.

При струменевому зрошенні плівка генерується по всій поверхні нагрівання, а не тільки на вході в трубу, внаслідок чого збільшується рівномірність зрошення, підвищується стійкість плівки, повністю усувається можливість її відслоювання і оголення поверхні кип'ятильних труб. Крім того, високі швидкості розтікання рідини дозволяють значно збільшити теплову завантаженість поверхні нагрівання.

При струменевій генерації плівка на поверхні нагрівання утворюється за рахунок удару в неї струменя, який витікає із отвору. При цьому використовується ефект додаткового швидкісного розтікання рідини в місці удару. Завдяки невеликій товщині (0,1 мм і менше) і великій швидкості її руху коефіцієнти тепловіддачі до неї значно зростають по зрівнянні з величинами, які мають місце в апаратах з природною циркуляцією.

Дослідження процесів теплообміну при струменевій генерації плівки показали, що цей спосіб відрізняється конструктивною простотою, дає можливість отримувати стійку тонкоплівкову течію, запобігає можливості оголення поверхні нагрівання, забезпечує завдяки великій швидкості розтікання високі значення коефіцієнтів тепловіддачі, сприяє скороченню терміну перебування продуктів в апаратах, зменшенню термічного розкладу продуктів, поліпшенню їх якості і збільшенню виходу.

Отримані залежності дозволяють виконати конструктивні розрахунки струменевих плівкових апаратів, визначити в них коефіцієнти теплопередачі та масове навантаження поверхні нагрівання.

Завдяки названим перевагам подібні апарати доцільно використовувати у багатокорпусних випарних установках. У цих апаратах рідина перебуває на теплогрійній поверхні короткий термін, що дає можливість випарювати розчини, які не витримують тривалого часу нагрівання.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до рідини обчислюється з використанням критеріального рівняння.

$$Nu = 0,268 \cdot 10^{-4} \left(\frac{v}{v_0} \right)^{-4} Pe_u^{0.6} Kp^{0.7} Pr^{0.3} Kw^{-0.55},$$

де Nu, Pr, Pe – критерії відповідно Нуссельта, Прандлі, Пекле; Kp, Kw – комплекси, які враховують вплив відповідно теплового потоку і тиску, за яких проходить кипіння в плівці; v – кінематична в'язкість рідини, м²/с; v₀ – в'язкість води і розчинів при t = 20°C, м²/с.

У розмірному вигляді коефіцієнт тепловіддачі від стінки до рідини, яка кипить, Вт/м²К, дорівнює

$$\alpha_2 = \frac{1}{34,65 \cdot 10^{-4}} \frac{\lambda v_0^{0.43}}{a^{0.9} \sigma^{0.7} v^{0.13} r^{0.05} \rho^{0.05}} P^{0.7} W_c^{0.55} D_{tr}^{0.3} q^{0.05},$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/мК; a – коефіцієнт температуропровідності, м²/с; σ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини, Н/м; r – питома теплота пароутворення, Дж/кг; ρ, ρ' – густина рідини і пари, кг/м³; P – тиск вторинної пари, Па; W_c – швидкість струменя, м/с; D_{tr} – діаметр кип'ятильної труби, м; q – питомий тепловий потік, Вт/м².

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі від стінки до рідини, яка кипить, α₂ потрібно знати середню швидкість витікання рідини з отворів. Її можна визначити на основі виконання гідравлічного розрахунку зрошувальних труб як трубопроводів з неперервними витратами.

У загальному випадку вибір того чи іншого способу генерації плівки визначається техніко-економічним розрахунком за знаходженням оптимального значення у залежності

$$B = E + \psi K_1,$$

де B – витрати, необхідні для виготовлення даного апарату; E – експлуатаційні витрати, пропорціональні витратам енергії на генерацію плівки; ψ – коефіцієнт окупності; K₁ – капітальні вкладення, залежні від величини поверхні нагрівання апарата.