

57. СПРОЩЕННЯ РОЗРАХУНКІВ ТЕПЛОВІДАЧІ ПРИ ПЛІВКОВІЙ КОНДЕНСАЦІЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ

О.Ф. Буляндра, д-р техн. наук

Д.Є. Сінат-Радченко, канд. техн. наук

Л.С. Гапонич, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

В курсі «Процеси і апарати» використовуються як аналітичні співвідношення, так і узагальнені експериментальні дослідження конденсації пари. Для розрахунку тепловіддачі при плівковій конденсації нерухомої водяної пари на вертикальних поверхнях і на поверхнях горизонтальних труб використовуються рівняння:

для ламінарного руху плівки конденсату ($Re_\delta < 400$, $Z < 2300$) — число $Re_\delta = CZ^{0,25}$,
для змішаної течії плівки конденсату ($Re_\delta > 400$, $Z > 2300$) —

$$Re_\delta = \left[89 + 0,024 \left(\frac{Pr_s}{Pr_c} \right)^{0,25} Pr_s^{0,5} (Z - 2300) \right]^{0,25}$$

де $Re_\delta = \frac{\bar{\alpha} \Delta t l}{\rho v}$ або $Re_\delta = \bar{\alpha} \Delta t l B$, $\bar{\alpha}$ — середній по поверхні коефіцієнт тепловіддачі,

$Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$, Δt — різниця температур між температурою насичення пари t_s та стінки t_c , $^\circ C$; Pr_s , Pr_c — числа Прандля для температури насичення пари t_s та стінки t_c , відповідно; l — визначальний лінійний розмір, для вертикальних поверхонь $l = h$, для

горизонтальних труб $l = \pi R$, h — висота вертикальної поверхні, м; R — радіус горизонтальної труби, м; $Z = \Delta t \left(\frac{g}{v^2} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{\lambda}{g \rho \nu}$ або $Z = \Delta t / A$, λ , ρ , ν — теплопровідність, Вт/(м·°C), густина, кг/м³, кінематична в'язкість, м²/с, конденсату визначаються за t_s ; r — питома теплота пароутворення, Дж/кг; g — прискорення вільного падіння, м/с²; A , B — комплекси теплофізичних параметрів конденсату, що визначаються за t_s ; $B = 1/(g \rho \nu)$, м/Вт;

$$A = \left(\frac{g}{v^2} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{\lambda}{g \rho \nu}, (\text{м} \cdot \text{°C})^{-1}.$$

Для вертикальних поверхонь $C=0,943$, для горизонтальних труб $C=0,728$. При розрахунках тепловіддачі при ламінарному русі плівки конденсату необхідно враховувати поправки на хвильовий рух ($Re_c^{0,04}$) конденсату та змінність теплофізичних властивостей конденсату по товщині плівки з температурою.

Значення комплексів A і B для води в діапазоні температур від 20 до 300 °C наведено у таблиці. Суттєво спростити розрахунки коефіцієнта тепловіддачі при конденсації водяної пари може використання температурних залежностей комплексів A і B . Для цього нами пропонуються прості але достатньо точні залежності:

$$A = \exp(a \ln^2 t_s + b \ln t_s + c).$$

$$B \cdot 10^3 = (d/t_s^2 + e/t_s + f)^{-1}.$$

При конденсації водяної пари під тиском пари нижче атмосферного ($t_s = 20 \dots 100$ °C) коефіцієнти в залежностях наступні: $a = 0,30468$, $b = -0,88518$, $c = 1,5583$, $d = -649,51$, $e = 84,564$, $f = -0,136$. Граничні відносні похибки $\delta A = 1,1$ %, $\delta B \cdot 10^3 = 1,2$ %.

За тисків вище атмосферного ($t_s = 100 \dots 300$ °C) коефіцієнти наступні: $a = 0,11315$, $b = 2,93166$, $c = -7,1655$, $d = -1146,91$, $e = 91,224$, $f = -0,1608$. Граничні відносні похибки $\delta A = 2,5$ %, $\delta B \cdot 10^3 = 1,8$ %.

У характерному для харчових технологій інтервалі температур насиченої водяної пари $t_s = 60 \dots 160$ °C: $a = 0,09796$, $b = 0,8917$, $c = -2,252$, $d = -433,84$, $e = 81,2$, $f = -0,1272$. Граничні відносні похибки $\delta A = 1,0$ %, $\delta B \cdot 10^3 = 0,7$ %.

Використання отриманих залежностей рекомендується при розрахунках випарних апаратів та конденсаторів.