

Ebulição - fervura (1)

Livro: Helman

9.6 Relações Simplificadas para a Transferência de Calor na Ebulição da Água

Muitas relações empíricas foram desenvolvidas para estimar os coeficientes de transferência de calor na ebulição da água. Algumas relações mais simples são apresentadas por Jakob e Hawkins [15] para a ebulição da água sobre superfícies externas submersas, à pressão atmosférica (Tabela 9-3).

Tabela 9-3 Relações simplificadas para os coeficientes de transferência de calor na ebulição da água à pressão atmosférica, adaptado da Ref. 15.

$\Delta T_x = T_p - T_{sat}, ^\circ\text{C}$		
Superfície	$\frac{q}{A}, \text{ kW/m}^2$	$h, \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
Horizontal	$\frac{q}{A} < 16$	$1042 (\Delta T_x)^{1/3}$
	$16 < \frac{q}{A} < 240$	$5,56 (\Delta T_x)^3$
Vertical	$\frac{q}{A} < 3$	$537 (\Delta T_{sx})^{1/7}$
	$3 < \frac{q}{A} < 63$	$7,96 (\Delta T_x)^3$

Estes coeficientes podem ser modificados para levar em consideração a influência da pressão, através da relação empírica

$$h_p = h_1 \left(\frac{p}{p_1} \right)^{0,4} \quad (9-44)$$

onde h_p = coeficiente de transferência de calor à pressão p

h_1 = coeficiente de transferência de calor à pressão atmosférica obtido na Tabela 9-3

p = pressão do sistema

p_1 = pressão atmosférica padrão

Para ebulição local em convecção forçada no interior de tubos verticais é recomendada a seguinte relação [16]:

$$h = 2,54 (\Delta T_x)^3 e^{p/1,551} \quad (9-45)$$

onde ΔT_x é a diferença entre a temperatura da superfície e a do líquido saturado, em graus Celsius, e p é a pressão em meganewtons por metro quadrado. O coeficiente de transferência de calor tem unidades de watts por metro quadrado por grau Celsius. A Eq. (9-45) é válida para uma faixa de pressão desde 5 até 170 atm.

Experiências de Jakob e Fritz configuraram a validade de algumas expressões para coeficiente de filme na vaporização da água à pressão atmosférica e que são apresentadas a seguir:

(a) para superfícies planas horizontais e

$$\frac{q}{A} \leq 5\,000 \text{ Btu/h ft}^2 \dots \dots \dots h = 43 \left(\frac{q}{A} \right)^{1/4} \text{ (Btu/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F)} \quad (6.3b)$$

$$\frac{q}{A} \leq 15\,769 \text{ W/m}^2 \dots \dots \dots h = 183 \left(\frac{q}{A} \right)^{1/4} \text{ (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

(b) para superfícies planas horizontais e

$$5\,000 < \frac{q}{A} \leq 75\,000 \text{ (Btu/h ft}^2 \text{)} \dots \dots \dots h = 0,64 \left(\frac{q}{A} \right)^{3/4} \text{ (Btu/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F)} \quad (6.3c)$$

$$15\,769 \leq \frac{q}{A} \leq 425\,775 \text{ (W/m}^2 \text{)} \dots \dots \dots h = 1,54 \left(\frac{q}{A} \right)^{3/4} \text{ (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

(c) para superfícies planas verticais e

$$\frac{q}{A} \leq 1\,000 \text{ Btu/h ft}^2 \dots \dots \dots h = 50 \left(\frac{q}{A} \right)^{1/8} \text{ (Btu/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F)} \quad (6.3d)$$

$$\frac{q}{A} \leq 3\,154 \text{ W/m}^2 \dots \dots \dots h = 246 \left(\frac{q}{A} \right)^{1/8} \text{ (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

(d) para superfícies planas verticais e

$$1\,000 < \frac{q}{A} \leq 20\,000 \text{ (Btu/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F)} \dots \dots \dots h = 0,7 \left(\frac{q}{A} \right)^{3/4} \text{ (Btu/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F)} \quad (6.3e)$$

$$3\,154 < \frac{q}{A} \leq 630 \text{ (W/m}^2 \text{)} \dots \dots \dots h = 1,7 \left(\frac{q}{A} \right)^{3/4} \text{ (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

(e) para superfície interior de tubos verticais e

$$\frac{q}{A} \leq 5\,000 \text{ Btu/h ft}^2 \dots \dots \dots h = 53,75 \left(\frac{q}{A} \right)^{1/4} \text{ (Btu/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F)} \quad (6.3f)$$

$$\frac{q}{A} \leq 15\,769 \text{ W/m}^2 \dots \dots \dots h = 229 \left(\frac{q}{A} \right)^{1/4} \text{ (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

(f) para superfície interior de tubos verticais e

$$5\,000 < \frac{q}{A} \leq 75\,000 \text{ (Btu/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F)} \dots \dots \dots h = 0,8 \left(\frac{q}{A} \right)^{1/4} \text{ (Btu/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F)} \quad (6.3g)$$

$$15\,769 < \frac{q}{A} \leq 425\,775 \text{ (W/m}^2 \text{)} \dots \dots \dots h = 1,92 \left(\frac{q}{A} \right)^{3/4} \text{ (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$$