

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ ОТ КОНДЕНСИРУЮЩЕГОСЯ ПАРА К СТЕНКЕ

Сурнин Эдуард Геннадиевич

Научный руководитель профессор Емельянов Р.Т.

Сибирский федеральный университет

Теплоотдача при конденсации на вертикальных и горизонтальных трубах имеет свои особенности. Но прежде чем приступить к расчету, следует найти среднюю температуру стенки со стороны пара \bar{t}_{c1} , которую в первом приближении можно принять равной

$$\bar{t}_{c1} = t_{n1} - \frac{\Delta t}{2}.$$

На вертикальной трубе теплоотдача зависит от режима течения пленки конденсата – ламинарного или комбинированного (течение на верхней части трубы ламинарное, на нижней переходит в турбулентное).

Режим течения определяется величиной приведенной длины

$$Z = H \cdot (t_{n1} - \bar{t}_{c1}) \cdot A \cdot \left(1 - \frac{\rho_{n1}}{\rho_1}\right)^{0,33},$$

где H – высота вертикальной поверхности, принимается в пределах $1,5 \div 3,5$ м;

t_{n1} – температура пара, °С, известная из условия;

\bar{t}_{c1} – средняя температура стенки со стороны пара, °С;

A – комплекс, составленный из теплофизических свойств, определяется по t_{n1} из табл. 3 прил.;

ρ_{n1} – плотность пара, кг/м³ при t_{n1} ;

ρ_1 – плотность конденсата, кг/м³ при t_{n1} . (табл. 1).

Если $Z < 2300$, то режим течения пленки конденсата ламинарный, и средний по высоте трубы коэффициент теплоотдачи $\bar{\alpha}_1$ определяется формулой

$$\bar{\alpha}_1 = \frac{0,94 \cdot D}{[H \cdot (t_{n1} - \bar{t}_{c1})]^{0,22}} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{n1}}{\rho_1}\right)^{0,26} \cdot \varepsilon_t,$$

где D – комплекс, определяемый из табл. 3 прил. по t_{n1} .

Поправка на переменность физических свойств конденсата

$$\varepsilon_t = \left[\left(\frac{\lambda_{c1}}{\lambda_1}\right)^3 \cdot \frac{\mu_1}{\mu_{c1}} \right]^{0,125},$$

где λ_{c1} и λ_1 – коэффициент теплопроводности конденсата соответственно при \bar{t}_{c1} и t_{n1} ;

μ_{c1} и μ_1 – коэффициент динамической вязкости конденсата, Па · с, соответственно при \bar{t}_{c1} и t_{n1} .

Если $Z > 2300$, то режим течения пленки комбинированный, и средний коэффициент теплоотдачи, (Вт/(м · К))

$$\bar{\alpha}_1 = 400 \cdot \frac{r_1 \cdot \rho_1 \cdot v_1}{H \cdot (t_{H1} - \bar{t}_{c1})} \cdot \left[1 + 0,625 \cdot Pr_{H1}^{0,5} \cdot \left(\frac{Z}{2300} - 1 \right) \cdot \left(\frac{Pr_{H1}}{Pr_{c1}} \right)^{0,25} \right]^{1,25},$$

где v_1 – коэффициент кинематической вязкости, м²/с, при t_{H1} ;

Pr_{H1} – число Прандтля при t_{H1} ;

Pr_{c1} – число Прандтля при \bar{t}_{c1} ;

r_1 – в Дж/кг.

Средний по окружности *горизонтальной трубы* коэффициент теплоотдачи (если считать, что по всей поверхности трубы течение пленки конденсата является ламинарным)

$$\bar{\alpha}_1 = M \cdot [(t_{H1} - \bar{t}_{c1}) \cdot d_2]^{-0,25} \cdot \varepsilon_t,$$

где M – комплекс, выбирается из табл. 3 прил. по t_{H1} ;

d_2 – наружный диаметр внутренней трубы, м.

Таблица 1

Физические свойства воды на линии насыщения

$t_H, ^\circ\text{C}$ 0,01	$P \cdot 10^5,$ Па 1,013	$\rho, \text{кг/м}^3$ 999,9	$C_p,$ кДж/кг 4,218	$\lambda \cdot 10^2,$ Вт/(м·К) 55,1	$\mu \cdot 10^6$, Па·с 1788	$\nu \cdot 10^6,$ м ² /с 1,789	$\beta \cdot 10^4, 1/\text{K}$ -0,63	$r_0, \text{кДж/кг}$ 2501	Pr 13,67
10	1,013	999,7	4,193	57,4	1306	1,306	0,70	2477	9,52
20	1,013	998,2	4,182	59,9	1004	1,006	1,82	2454	7,02
30	1,013	995,7	4,178	61,8	801,5	0,805	3,21	2430	5,42
40	1,013	992,2	4,17	63,5	653,3	0,659	3,87	2406	4,31
50	1,013	988,1	4,181	64,8	549,4	0,556	4,09	2383	3,54
60	1,013	983,2	4,184	65,9	469,4	0,478	5,11	2358	2,98
70	1,013	977,8	4,189	66,8	406,1	0,415	5,70	2333	2,55
80	1,013	971,8	4,196	67,5	355,1	0,385	6,32	2308	2,21
90	1,013	965,3	4,205	68	314,9	0,326	6,95	2282	1,95
100	1,013	958,4	4,217	68,3	282,0	0,295	7,52	2257	1,75
110	1,43	951,0	4,23	68,5	259,0	0,272	8,08	2230	1,6
120	1,98	943,1	4,245	68,6	237,4	0,252	8,268	2202	1,47
130	2,70	934,8	4,267	68,6	217,8	0,283	9,19	2174	1,36
140	3,61	926,1	4,286	68,5	201,1	0,217	9,72	2145	1,26
150	4,78	917	4,311	68,4	186,4	0,203	10,3	2114	1,17
160	6,18	907,4	4,346	68,3	173,6	0,191	10,7	2082	1,10
170	7,92	897,3	4,38	67,9	162,8	0,181	11,3	2050	1,05
180	10,03	886,9	4,417	67,4	153,0	0,173	11,9	2015	1,00
190	12,55	886,0	4,459	67,0	144,2	0,165	12,6	1979	0,96