UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

OPERAÇÕES UNITÁRIAS II

Prof. Antonio Carlos da Silva

AULAS 11 E 12 - CÁLCULO DE TROCADORES DE CALOR

05/Outubro/2020

16) Um trocador de calor aletado é utilizado (correntes cruzadas não misturadas) para aquecer 2,36 m^3/s de ar a 1 atm, de 15,55°C a 29,44°C. A água quente escoa no interior dos tubos, entrando a 82,2°C, enquanto o ar escoa por fora, com coeficiente global médio 227 W/m^2.°C. A área total da superfície do trocador de calor é 9,29 m^2. Calcule a temperatura de saída da água e a taxa de transferência de calor.
Dados para o ar: Cp = 1006 J/kg.°C e ρ = 1,223 kg/m^3. Para a água considera Cp = 4180 J/kg.°C.
Observação: considere incialmente que Cc = Cmín (faltam dados para calcular Ch); se os parâmetros calculados não corresponderem a um ponto no diagrama, então Cc = Cmáx e solução será iterativa, supondo valores para Cr, começando com Cr= 0,5.

Ar	Água quente
m = 2,36 m3/s	
Tce = 15,55	The = 82,2
Tcs = 29,44	
Cp = 1006	Cp = 4180
ρ = 1,223	

m = 2,36 m^3/s.1,223 kg/m^3 → m = 2,886 kg/s

Q = m.Cp.ΔT → Q = 2,886.1006.(29,44 – 15,55) → Q = 40327,06W

Cc= mc.Cpc → Cc =2,886.1006 → Cc = 2903,316 W/°C
Supondo que Cc = Cmin:
NUT = Um.A/Cmin → NUT = 227.9,29/2903,316 → NUT = 0,73

ε = Cc(Tcs – Tce)/Cmin.(The – Tce) → ε = (29,44 – 15,55)/(82,2 – 15,55) → ε = 0,21

Os valores de NUT e ε não corresponderam a um valor no diagrama da Fig 11.19.
Assim, Cc = Cmáx = 2904

Supondo: Cr = 0,5

Cr = Cmin/Cmax = Ch/Cc → 0,5 = Ch/2904 → Ch = 1452

ε = Ch(The-Ths)/Cmin(The – Tce)

E = (The – Ths)/(82,22 -15,55) = ΔTh/(82,22 – 15,55)

Q = mh.Cph.(The – Ths) → Q = Ch.ΔTh → ΔTh = Q/Ch = 40327 / Ch

ΔTh = 40327/1452 = 27,77 C

ε = (The-Ths)/(The – Tce) = 27,77/(82,22 – 15,55) → ε = 0,42

NUT = Um.A/Cmin → NUT = 227.9,29/1452 → NUT = 1,45

Os valores de ε e NUT não corresponderam a um ponto no diagrama, portanto a hipótese Cr = 0,5 não se confirmou.

Supondo Cr = 0,25

Cr = Cmin/Cmax = Ch/Cc → 0,25 = Cmin/2904 → Ch = Cmin = 726

ΔTh = Q/Ch → DTh = 40327/726 → ΔTh = 55,55

ε = (The-Ths)/(The – Tce) = 55,55/(82,22 – 15,55) → ε = 0,83

NUT = Um.A/Cmin → NUT = 227.9,29/726 → NUT = 2,9

Os valores de ε e NUT corresponderam a um ponto no diagrama, portanto a hipótese Cr = 0,5 se confirmou.

ΔTh = 55,55 = (The – Ths) → 55,55 = 82,22 – Ths → Ths = 26,67 C

Cq = 726 = mh.Cph → 726 = mh.4180 → mh = 0,174 kg/s

MÉTODO ε-NUT - EQUAÇÕES

As relações de efetividade, NUT e Cr são comumente relacionadas na forma de diagramas. Mas também pode-se definir equações para as curvas, com resolução analítica.

RELAÇÕES DA EFETIVIDADE PARA TROCADORES DE CALOR (N = NUT e C = Cr)

Trocador tubular:

Correntes paralelas $$\varepsilon = \frac{1 - e^{[-N.(1+C)]}}{1 + C}$$

Contracorrente $$\varepsilon = \frac{1 - e^{[-N.(1-C)]}}{1 - C.e^{[-N.(1-C)]}}$$

Contracorrente, Cr = 1 $$\varepsilon = \frac{N}{N + 1}$$

Trocador de calor de casco e tubos:

1 passe no casco e 2, 4 ou 6 passes nos tubos:

$$\varepsilon = 2.\left\{1 + C + \left(1 + C^2\right)^{1/2}.\frac{1 + e\left[-N.\left(1 + C^2\right)^{1/2}\right]}{1 - e\left[N.\left(1 + C^2\right)^{1/2}\right]}\right\}^{-1}$$

Trocador com condensação/ebulição, Cr = 0 $$\varepsilon = 1 - e^{-N}$$

RELAÇÕES DE NUT (N) PARA TROCADORES DE CALOR (N = NUT e C = Cr)

Trocador tubular:

Correntes paralelas $$N = \frac{-\ln[1 - (1 + C).\varepsilon]}{1 + C}$$

Contracorrente $$N = \frac{1}{C - 1}.\ln\left(\frac{\varepsilon - 1}{C.\varepsilon - 1}\right)$$

Contracorrente, Cr = 1 $$N = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}$$

Trocador de calor de casco e tubos:

1 passe no casco e 2, 4 ou 6 passes nos tubos:

$$N = -\left(1 + C^2\right)^{-1/2}.\ln\left[\frac{2/\varepsilon - 1 - C - \left(1 + C^2\right)^{1/2}}{2/\varepsilon - 1 - C + \left(1 + C^2\right)^{1/2}}\right]$$

Trocador com condensação/ebulição, Cr = 0 $\qquad N = -\ln(1 - \varepsilon)$

N = NUT e C = Cr

07/Outubro/2020

17) Um condensador de vapor d´água de casco e tubos com tubos horizontais de diâmetro externo 25 mm e diâmetro interno 22 mm, com um passe nos tubos condensa o vapor a Th = 54°C. A água de resfriamento (Cp = 4180 J/kg.°C) entra nos tubos a Tca = 18°C com vazão 0,7 kg/s por tubo e sai a Tcb = 36°C. O coeficiente global de troca de calor baseado na superfície externa do tubo é Um = 3987 W/m^2.°C. Calcule o comprimento L do tubo e a taxa de transferência de calor.

Vapor	Água
Th = 54	Tca = 18
	Tcb = 36
	m = 0,7
	Cp = 4180

Q = m.Cp.ΔT → Q = 0,7.4180.(36 – 18) → Q = 52668 W

E = ~~Cc~~.(Tcb – Tca)/~~Cmin~~(Th – Tca)

Cc = 0,7.4180 → Cc = 2926 (Cmin)

ε = (36 – 18)/(54 – 18) → ε = 0,5

N = -ln(1 – ε) → N = -ln(1 – 0,5) → N = 0,6931

NUT = Um.A/Cmin → 0,6931 = 3987.A/2926 → A = 0,5087 m^2

A = π.D.L → 0,5087 = 3,1415927.0,025.L → L = 6,48 m

18) Necessita-se um trocador de calor de um passe no casco e quatro passes nos tubos para aquecer 1 kg/s de uma solução, dentro dos tubos, desde T_1 = 38°C até T_2 = 115°C, utilizando água quente pressurizada, no lado do casco, com uma vazão de 0,6 kg/s, entrando a 280°C. O coeficiente global de troca de calor é 1480 W/m².°C. Determinar a temperatura de saída da água quente, a carga térmica do trocador e a área de troca de calor necessária.

Dados: cp = 4300 J/kg.°C para a água quente pressurizada e cp = 4080 J/kg.°C para a solução

Solução	Água quente pressurizada
m = 1	m = 0,6
Tca = 38	Tha = 280
Tcb = 115	
Cpc = 4080	Cph = 4300

Q = m.Cp.ΔT → Q = 1.4080.(115 – 38) → Q = 314.160 W

314160 = 0,6.4300.(280 – Thb) → Thb = 158,23 C

Cc = mc.Cpc → Cc = 1.4080 → Cc = 4080 (Cmax)

Ch = mh.Cph → Ch = 0,6.4300 → Ch = 2580 (Cmin)

Cr = 2580/4080 → Cr = 0,6323

ε = (Tha – Thb)/(Tha – Tca) → ε = (280 -158,23)/(280 – 38) → ε = 0,5032

$$N = -\left(1 + C^2\right)^{-1/2}.\ln\left[\frac{2/\varepsilon - 1 - C - \left(1 + C^2\right)^{1/2}}{2/\varepsilon - 1 - C + \left(1 + C^2\right)^{1/2}}\right]$$

$N = -(1+0{,}6323^2)^{-1/2}.\ln\,[(2/0{,}5032 - 1 - 0{,}6323 - (1+0{,}6323^2)^{1/2})/(2/0{,}5032 - 1 - 0{,}6323 + (1+0{,}6323^2)^{1/2})]$

NUT = 0,939

NUT = Um.A/Cmin → 0,939 = 1480.A/2580 → A = 1,64 m²