ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/327050837

المبادلات الحرارية

Preprint · August 2018

CITATIONS
0

READS
5,141

1 author:

Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal
Nile Valley University
2,183 PUBLICATIONS **3,184** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Mountain Warfare View project

using vegetable oils mixed with benzene or diesel as internal combustion engine fuels View project

All content following this page was uploaded by Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal on 16 August 2018.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

مقدمة

يشتمل هذا الكتاب على مجموعة متنوعة من المسائل في مقرر المبادلات الحرارية لفائدة طلاب قسم الهندسة الميكانيكية وهندسة التصنيع.

يتضمَّن هذا الكتاب تعريفاً لبعض مصطلحات المبادلات الحرارية وكيفية حسابها. على سبيل المثال متوسطا فرق درجة الحرارة الحسابي واللوغاريثمي، فالمبادلات الحرارية متوازية ومتعاكسة السريان، أطوال وأقطار ومساحة سطح المبادل الحراري، معدَّل سريان كتل الموائع الباردة والساخنة، تفاوت درجات الحرارة بين مدخل ومخرج المبادل الحراري، مقارنة بين المبادل الحراري متوازي السريان ومتعاكس السريان من وجهة نظر مساحة السطح ومتوسط فرق درجة الحرارة اللوغاريثمي (LMTD)، المقاومات الحرارية وعوامل الإتساخ، درجات حرارة الموائع الباردة والساخنة عند مدخل ومخرج المبادل الحراري. بالإضافة لملخص يشتمل على أهم القوانين والصيَّغ الرياضية المستخدمة في المبادلات الحرارية.

المسألة (1):-

عند أي قيمة من نسبة فروقات درجة الحرارة الطرفية $\frac{\theta_1}{\theta_2}$ يكون متوسط فرق درجة الحرارة الحسابي أكبر بمقدار 5% من متوسط فرق درجة الحرارة اللوغريثمي؟

الحل:-

$\bar{\theta} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}$، متوسط فرق درجة الحرارة الحسابي.

$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\log_e(\theta_1/\theta_2)}$، متوسط فرق درجة الحرارة اللوغاريثمي.

$$\frac{\bar{\theta}}{\theta_m} = \frac{\left[\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right]}{\frac{\theta_1 - \theta_2}{\log_e(\theta_1/\theta_2)}} = \frac{(\theta_1 + \theta_2)}{2(\theta_1 - \theta_2)} \log_e\left[\frac{\theta_1}{\theta_2}\right]$$

معطي أنَّ $\bar{\theta}$ يكون أكبر مقدار 5% عن θ_m

$$\frac{\bar{\theta}}{\theta_m} = 1.05 \frac{\left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right)+1}{2\left[\left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right)-1\right]} = \ln\left[\frac{\theta_1}{\theta_2}\right]$$

$$\text{or} \quad \frac{\left(\left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right)+1\right)}{\left(\left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right)-1\right)} \times \ln\left[\frac{\theta_1}{\theta_2}\right] = 2 \times 0.015 = 2.1$$

بالمحاولة والخطأ نحصل على،

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \underline{2.2}$$

عليه فإنَّ متوسط فرق درجة الحرارة الحسابي يعطي نتائج في حدود دقة أو خطأ مقداره 5% عندما تتفاوت فروقات درجة الحرارة الطرفية بمقدار لا يزيد عن العامل $\frac{\theta_1}{\theta_2} = 2.2$.

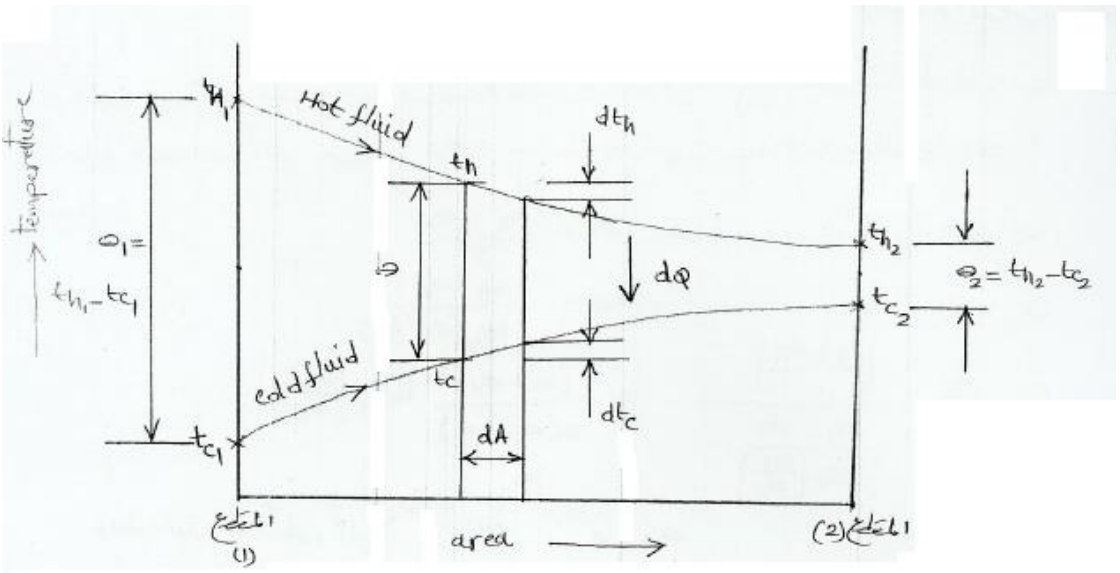
المسألة(2):-

(a) إشتَّق تعبيراً لفاعلية مبادل حراري متوازي السريان بدلالات عدد وحدات إنتقال الحرارة NTU، ونسبة السعة $R = C_{min}/ C_{max}$.

(b) في مبادل حراري متوازي السريان مزدوج الأنبوب ينساب الماء خلال أنبوب داخلي ويتم تسخينه من 20°C إلي 70°C.

الزيت المنساب خلال تجويف خارجي يتم تبريده من 200°C إلي 100°C. من المرغوب فيه تبريد الزيت لدرجة حرارة مخرج دنيا بزيادة طول المبادل الحراري. حدِّد درجة الحرارة الدنيا التي يمكن بها تبريد الزيت.

الحل:-



شكل رقم (1)

(a) الفاعلية لمبادل حراري متوازي السريان:-

بالرجوع للشكل رقم (1) عليه. معدَّل إنتقال الحرارة dQ خلال مساحة dA للمبادل الحراري يُعطي بـ :-

$$dQ = U.dA(t_h - t_c) \qquad (1)$$

$$= -\dot{m}_h C_h dt_h = \dot{m}_c C_c dt_c$$

$$= -C_h dt_h = C_c dt_c \qquad (2)$$

من المعادلة (2)، نحصل على،

$$dt_h = -\frac{dQ}{C_h} \quad \text{و} \quad dt_c = -\frac{dQ}{C_c}$$

$$\therefore dt_h - dt_c = -\frac{dQ}{C_h} - \frac{dQ}{C_c}$$

$$d(t_h - t_c) = -dQ\left[\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c}\right]$$

بتعويض قيمة dQ من المعادلة (1) وبإعادة الترتيب، نحصل على

$$\frac{d(t_h - t_c)}{(t_h - t_c)} = -U.dA\left[\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c}\right]$$

بالتكامل ما بين المقطعين (1) و (2) نحصل على

$$\ln\left[\frac{(t_{h_2} - t_{c_2})}{(t_{h_1} - t_{c_1})}\right] = -UA\left[\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c}\right]$$

$$\ln\left[\frac{(t_{h_2} - t_{c_2})}{(t_{h_1} - t_{c_1})}\right] = \frac{-UA}{C_h}\left[1 + \frac{1}{C_c}\right]$$

$$\text{أو} \quad \left[\frac{t_{h_2} - t_{c_2}}{t_{h_1} - t_{c_1}}\right] = e^{\frac{-UA}{C_h}\left[1+\frac{1}{C_c}\right]} \qquad (3)$$

من معادلة سابقة، لدينا تعبيراً للفاعلية،

$$\text{الفاعلية } \in = \frac{\text{الحرارة المنتقلة العفلية}}{\text{الحرارة المنتقلة القصوي الممكنة}} = \frac{Q}{C_{min}\left(t_{h_{max}} - t_{C_{min}}\right)}$$

$$\therefore \in = \frac{C_h\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)} = \frac{C_c\left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)} \qquad (4)$$

$$\text{بالتالي، } t_{h_2} = t_{h_1} - \frac{\in C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)}{C_h} \qquad (5)$$

$$t_{c_2} = t_{c_1} - \frac{\in C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)}{C_c} \qquad (6)$$

بتفادي t_{h_2} و t_{c_2} من المعادلة (3)، بمساعدة المعادلتين (5) و (6)، نحصل على

$$\frac{1}{\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)} = \left[\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right) - \in C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)\left\{\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c}\right\}\right] = e^{\frac{-UA}{C_h}\left[1+\frac{C_h}{C_c}\right]}$$

$$\text{أو} \quad 1 - \in C_{min}\left\{\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c}\right\} = e^{\frac{-UA}{C_h}\left[1+\frac{C_h}{C_c}\right]}$$

$$\text{أو } \in = \frac{1 - e^{\frac{-UA}{C_h}\left[1+\frac{C_h}{C_c}\right]}}{C_{min}\left\{\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c}\right\}} \qquad (7)$$

إذا كانت $C_c > C_h$ بالتالي $C_{min} = C_h$ و $C_{max} = C_c$ بالتالي تصبح المعادلة (7) كالآتي:

$$\in = \frac{1 - e^{\frac{-UA}{C_{min}}\left[1+\frac{C_{min}}{C_{max}}\right]}}{1 + \left\{\frac{C_{min}}{C_{max}}\right\}} \qquad (8)$$

إذا كانت $C_c < C_h$ بالتالي $C_{min} = C_c$ و $C_{max} = C_h$ بالتالي تصبح المعادلة (7) كالآتي:

$$\in = \frac{1 - e^{\frac{-UA}{C_{max}}\left[1+\frac{C_{max}}{C_{min}}\right]}}{1+\left\{\frac{C_{min}}{C_{max}}\right\}} \qquad (9)$$

بإعادة ترتيب المعادلات (8) و (9)، نحصل على معادلة مشتركة.

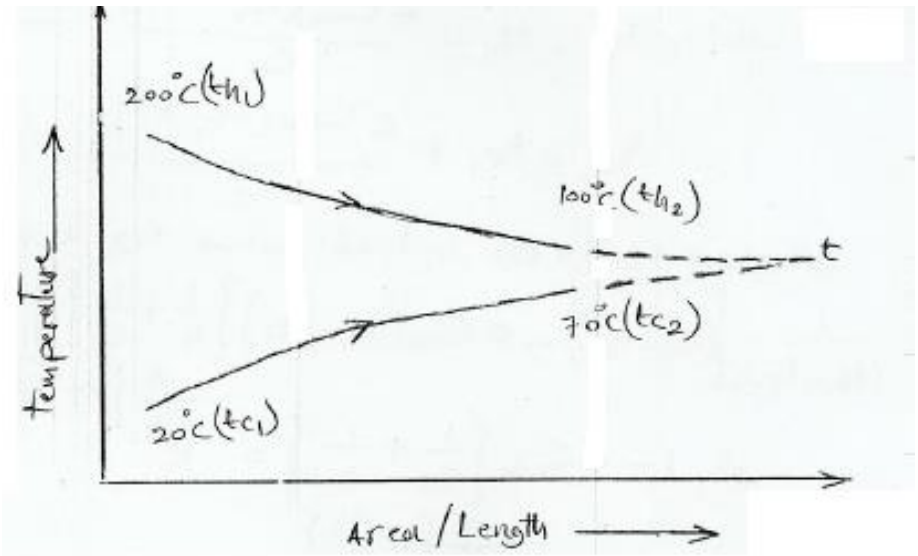
$$\in = \frac{1 - e^{\frac{-UA}{C_{min}}\left[1+\frac{C_{min\ x}}{C\max}\right]}}{1+\frac{C_{min}}{C_{max}}}$$

- المجموعة UA / C_{min} هي تعبير لا بعدي تُعرف بعدد وحدات إنتقال حرارة NTU.
- C_{min} / C_{max} هي كمية متغير لا بعدية تُعرف بنسبة السعة R.

عليه فإنَّ فاعلية مبادل حراري متوازي السريان تُعطي بـ

$$\in = \frac{1 - e^{NUT[1+R]}}{1+R} \qquad (10)$$

(b)



شكل رقم (2)

$$t_{h_1} = 200°C \quad ; t_{h_2} = 100°C$$

$$t_{c_1} = 20°C \quad ; t_{h_2} = 70°C$$

$$Q = \dot{m}_h C_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = \dot{m}_c C_c \left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$

أو

أو $\quad \dfrac{\dot{m}_c C_c}{\dot{m}_h C_h} = \dfrac{100}{50} = 2$

إجعل t هي درجة الحرارة الأدنى التي يمكن تبريد الزيت إليها والتي ستكون درجة الحرارة الأقصى للماء (إرجع للشكل (2) عاليه).

بالتالي،

$$\dot{m}_h C_h (200-100) = \dot{m}_c C_c (70-20)$$

$$200 - t = \frac{\dot{m}_c C_c}{\dot{m}_h C_h}(t-20)$$

$$200 - t = 2(t-20)$$

أو $\qquad 200 - t = 2t - 40$

أو $\qquad t = \underline{\underline{80}}°C$

المسألة (3):-

معدلات السريان لجداول من ماء ساخن وبارد تمر من خلال مبادل حراري متوازي السريان هما 0.2kg/s و 0.5kg/s على الترتيب. درجات حرارة المدخل على الجانبين الساخن والبارد هما 75°C و 20°C على الترتيب. درجة حرارة مخرج الماء الساخن هي 45°C. إذا

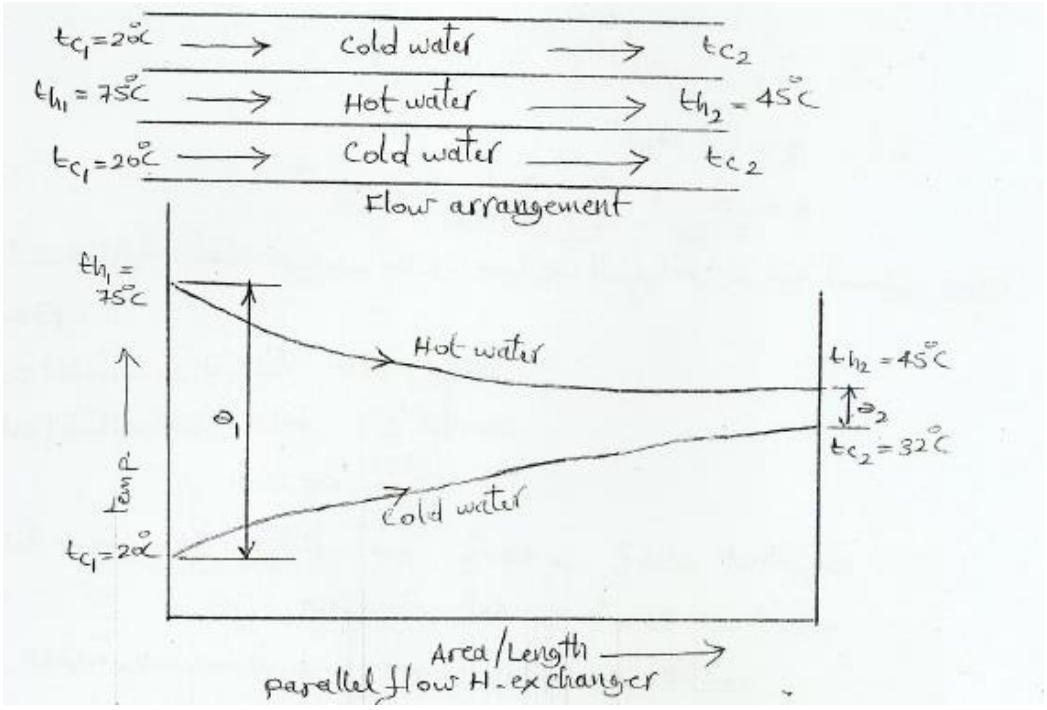
كانت معاملات إنتقال الحرارة المفردة على كلا الجانبين هي $650W/m^2°C$، أحسب مساحة المبادل الحراري. خذ C للماء $4.187kj/kg°C$.

الحل:-

معطـــــــــــي: $\dot{m}_h = 0.2kg/s$ ؛ $\dot{m}_c = 0.5kg/s$ ؛ $t_{h_1} = 75°C$ ؛ $t_{h_2} = 45°C$ ؛

$h_i = h_o = 650W/m^2°C$ ؛ $t_{c_1} = 20°C$.

يتم توضيح المبادل الحراري تخطيطياً في الشكل (3) أدناه



شكل (3)

معدَّل إنتقال الحرارة، $Q = \dot{m}_h \times C_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)$

$$= 0.2 \times 4.187 \times (75 - 45) = \underline{25.122}\ kj/s$$

الحرارة المكتسبة بالمائع البارد = الحرارة المفقودة بالمائع الساخن

$$\dot{m}_h \times C_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = \dot{m}_c \times C_c \left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$

$$25.122 = 0.5 \times 4.187 \times \left(t_{c_2} - 20\right)$$

$$\Rightarrow \quad \therefore t_{c_2} = \underline{32}\,°C$$

متوسط فرق درجة الحرارة للوغاريثمي يُعطي بـ

$$\text{LMTD} = \theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\log_e \frac{\theta_1}{\theta_2}}$$

أو $\theta_m = \dfrac{(t_{h_1} - t_{c_1}) - (t_{h_2} - t_{c_2})}{\log_e \left\{ \dfrac{t_{h_1} - t_{c_1}}{t_{h_2} - t_{c_2}} \right\}} = \dfrac{(75-20)-(45-32)}{\log_e \left\{ \dfrac{75-20}{45-32} \right\}}$

$$\theta_m = \frac{55-13}{\log_e \frac{55}{13}} = \underline{29.12}\ ^\circ\text{C}$$

معامل إنتقال الحرارة الإجمالي يُحسب من المعادلة التالية،

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

$$= \frac{1}{650} + \frac{1}{650} = \frac{2}{650} = \frac{1}{325}$$

$$\therefore U = \underline{325}\ \text{W/m}^2\,^\circ\text{C}$$

أيضاً ، $Q = UA\theta_m$

$$A = \frac{Q}{U\theta_m} = \frac{25.122 \times 10^3}{325 \times 29.12} = \underline{\underline{2.65}}\ \text{m}^2$$

المسألة (4):-

البيانات التالية تتعلق بمبادل حراري متوازي السريان يتم فيه تسخين هواء بغازات عادم.

الحرارة المنتقلة في الساعة 155450kj

معامل إنتقال الحرارة الداخلي $120\text{W/m}^2\,^\circ\text{C}$

معامل إنتقال الحرارة الخارجي $195\text{W/m}^2\,^\circ\text{C}$

درجات حرارة مدخل ومخرج المائع الساخن 450°C و 250°C على الترتيب.

درجات حرارة مدخل ومخرج المائع البارد $60°C$ و $120°C$ على الترتيب.

الأقطار الداخلية والخارجية للأنبوب $50mm$ و $60mm$ على الترتيب.

أحسب طول الأنبوب المطلوب لحدوث إنتقال الحرارة القصوى. تجاهل مقاومة الأنبوب.

الحل:-

$Q = 155450kj/h$ ؛ $h_i = 120W/m^2°C$ ؛ $h_o = 195W/m^2°C$ ؛ $t_{h_1} = 450°C$

$t_{h_2} = 250°C$ ؛ $t_{c_1} = 60°C$ ؛ $t_{c_2} = 120°C$ ؛ $d_i=50mm=0.05m$

$d_o=60mm=0.06m$.

$$(LMTD), \theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\log_e \frac{\theta_1}{\theta_2}} = \frac{(t_{h_1} - t_{c_1}) - (t_{h_2} - t_{c_2})}{\log_e \left\{ \frac{t_{h_1} - t_{c_1}}{t_{h_2} - t_{c_2}} \right\}}$$

$$= \frac{(450-60)-(250-120)}{\ln\left\{\frac{450-60}{250-120}\right\}} = \frac{390-130}{\ln\frac{390}{130}} = \underline{236.66}\,°C$$

معامل إنتقال الحرارة الإجمالي يُعطي بـ

$$\frac{1}{UA_o} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{1}{h_o A_o}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{A_o}{h_i A_i} + \frac{1}{h_o} = \frac{\pi d_o L}{\pi d_i L \times h_i} + \frac{1}{h_o} = \frac{d_o}{d_i}\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

$$= \frac{0.06}{0.05}.\frac{1}{120} + \frac{1}{195} = \underline{0.01513}$$

$$\therefore U = 66.09\ W/m^2°C$$

معدَّل إنتقال الحرارة الكلي يُعطي بـ

$$Q = UA\theta_m = U \times (\pi d_o L) \times \theta_m$$

$$\text{or } L = \frac{Q}{U \times \pi d_o \times \theta_m} = \frac{155450 \times (10^3 / 3600)}{66.09 \times \pi \times 0.06 \times 236.66} = \underline{\underline{14.65}} \text{ m}$$

المسألة (5):-

مائع ساخن عند 200°C يدخل مبادل حراري بمعدَّل سريان كتلة 10^4kg/h، حرارته النوعية 2000J/kgK. يتم تبريده بواسطة مائع آخر يدخل عند درجة حرارة 25°C بمعدَّل سريان كتلة 2500kg/h وحرارة النوعية 400J/kgK. معامل إنتقال الحرارة الإجمالي المؤسس على مساحة خارجية بمقدار $20m^2$ هو $250W/m^2K$. أوجد درجة حرارة مخرج المائع الساخن عندما يكون المائعان في سريان متوازي.

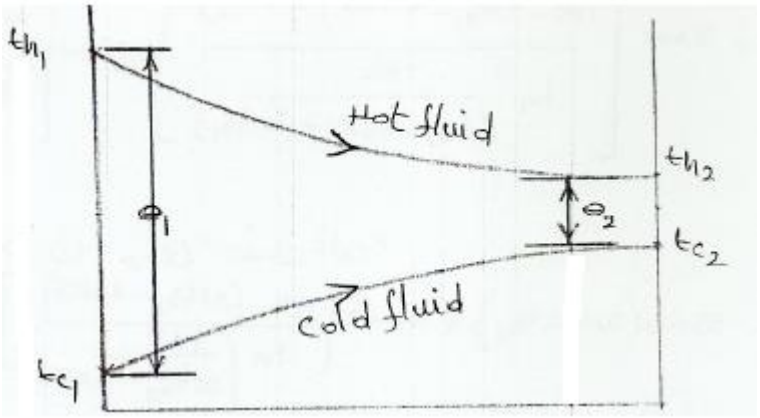
الحل:-

$$؛ t_{c_1} = 25°C ؛ C_h = 2000J/kgK ؛ \dot{m}_h = \frac{10^4}{3600} = 2.78kg/s ؛ t_{h_1} = 200°C$$

$$\dot{m}_c = \frac{2500}{3600} = 0.694kg/s \text{ ؛ } C_c = 400J/kgK ؛ U = 250W/m^2K.$$

الحرارة المفقود بواسطة الماء الساخن $Q = \dot{m}_h \times C_h (t_{h_1} - t_{h_2})$،

$$= 2.78 \times 2000 \times (200 - t_{h_2}) = 5560 \times (200 - t_{h_2}) \qquad \text{(i)}$$



الحرارة المكتسبة بواسطة الماء البارد $Q = \dot{m}_c C_h (t_{c_2} - t_{c_1})$،

$$= 0.694 \times 400 \times \left(t_{h_2} - 25\right)$$

$$= 277.6 \times \left(t_{h_2} - 25\right) \qquad \text{(ii)}$$

بمساواة (i) و (ii)، نحصل على

$$5560 \times \left(200 - t_{h_2}\right) = 277.6 \times \left(t_{c_2} - 25\right)$$

$$\text{(iii}\, t_{c_2} = \frac{5560}{277.6} \times \left(200 - t_{h_2}\right) + 25 = 4025 - 20t_{h_2}\text{)}$$

أيضاً، الحرارة المنتقلة تُعطي بـ

$$Q = UA\theta_m$$

حيث $$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\log_e \frac{\theta_1}{\theta_2}}$$

$$\theta_1 = t_{h_1} - t_{c_1} = 200 - 25 = \underline{175} \circ C$$

$$\theta_2 = t_{h_2} - t_{c_2}$$

$$\therefore \theta_m = \frac{175 - \left(t_{h_2} - t_{c_2}\right)}{\ln\left\{\frac{175}{t_{h_2} - t_{c_2}}\right\}}$$

بتعويض القيَّم عاليه، نحصل على

$$\text{(iv}\, Q = 250 \times 20\left[\frac{175 - \left(t_{h_2} - t_{c_2}\right)}{\ln\left\{\frac{175}{t_{h_2} - t_{c_2}}\right\}}\right]\text{)}$$

$$Q = 5000\left[\frac{175-\left\{t_{h_2}\left(4025-20t_{h_2}\right)\right\}}{\ln\frac{175}{\left(t_{h_2}-4025+20t_{h_2}\right)}}\right] = 5000\left[\frac{175-\left(21t_{h_2}-4025\right)}{\ln\left\{\frac{175}{21t_{h_2}-4025}\right\}}\right] \text{(v)}$$

بمساواة المعادلتين (i) و (v) نحصل على،

$$5560\left(200-t_{h_2}\right) = 5000\left[\frac{175-\left(21t_{h_2}-4025\right)}{\ln\left\{\frac{175}{21t_{h_2}-4025}\right\}}\right]$$

باستخدام أسلوب المحاولة والخطأ يمكن إيجاد t_{h_2}.

المسألة (6):-

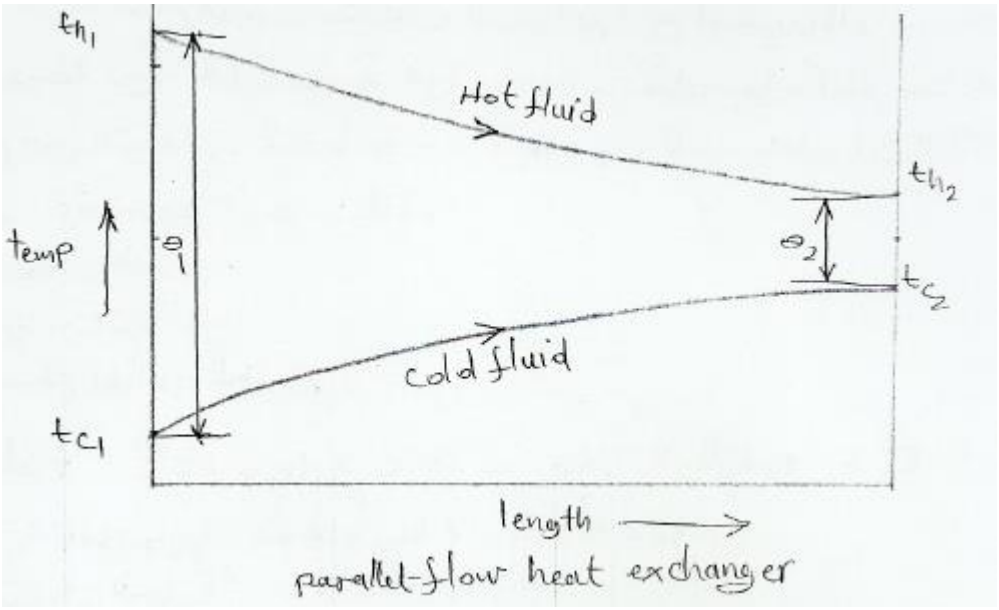
في مبادل حراري مزدوج الماسورة (الأنبوبة) ينساب الماء بمعدَّل 50,000kg/h ويتم تبريده من 95°C إلي 65°C. في نفس الوقت فإنَّ 50,000kg/h من ماء التبريد عند 30°C يدخل إلي المبادل الحراري. من شروط السريان أنَّ معامل إنتقال الحرارة الإجمالي يظل ثابتاً عند $2270W/m^2K$. حدَّد مساحة إنتقال الحرارة المطلوبة والفعالية، إفترض سريان متوازي. إفترض لكلا السريانان C = 4.2kj/kgK.

الحل:-

معطي: $t_{h_1} = 95°C$ ؛ $\dot{m}_h = \frac{50000}{3600} = 13.89kg/s$ ؛ $t_{h_2} = 65°C$ ؛ $t_{c_1} = 30°C$ ؛

$\dot{m}_c = \frac{50000}{3600} = 13.894kg/s$ ؛ $C_h = C_c = 4.2kj/kgK$ ؛ $U = 2270W/m^2K$.

الحرارة المكتسبة بواسطة الماء البارد = الحرارة المفقودة بواسطة المائع الساخن = Q



$$\dot{m}_h \times C_h\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = \dot{m}_c \times C_c\left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$

$$13.89 \times 4.2 \times 10^3 = 13.89 \times 4.2 \times 10^3 \times \left(t_{c_2} - 30\right)$$

$$\therefore \qquad \Rightarrow t_{c_2} = \underline{60}\,^\circ\mathrm{C}$$

$$\left(\mathrm{LMTD}\right), \theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \dfrac{\theta_1}{\theta_2}} = \frac{\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right) - \left(t_{h_2} - t_{c_2}\right)}{\ln\left\{\dfrac{t_{h_1} - t_{c_1}}{t_{h_2} - t_{c_2}}\right\}}$$

$$= \frac{\left(95 - 30\right) - \left(65 - 60\right)}{\ln\left\{\dfrac{95 - 30}{65 - 60}\right\}} = \underline{234}\,^\circ\mathrm{C}$$

أيضاً ، $Q = UA\theta_m = U \times \left(\pi d_o L\right) \times \theta_m$

أو $13.89 \times 4200\left(95 - 65\right) = 2270 \times A \times 23.4$

مساحة إنتقال الحرارة ، $A = \underline{\underline{32.95}}\,\mathrm{m}^2$

فاعلية المبادل الحراري $= \dfrac{Q_{\text{actual}}}{Q_{\max.}}$

$$Q_{act.} = \dot{m}_h \times C_h\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) \text{ and } Q_{max} = \dot{m}_h \times C_h\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)$$

$$\in = \frac{Q_{act.}}{Q_{max}} = \frac{\dot{m}_h \times C_h\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)}{\dot{m}_h \times C_h\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)} = \frac{95 - 65}{95 - 30} = \underline{\underline{0.461}}$$

المسألة (7):-

في مبادل حراري مزدوج الأنبوب متعاكس السريان، يتم تسخين الماء من 25°C إلي 60°C بواسطة زيت بحرارة نوعية 1.45kj/kgK وبمعدَّل سريان كتلة مقداره 0.9kg/s. يتم تبريد الزيت من 230°C إلي 160°C. إذا كان معامل إنتقال الحرارة الإجمالي 420W/m²°C، أحسب الآتي:-

i/ معدَّل إنتقال الحرارة.

ii/ معدَّل سريان كتلة الماء.

iii/ مساحة سطح المبادل الحراري.

الحل:-

معطي: $\dot{m}_h = 0.9kg/s$ ؛ $C_h 1.45kj/kgK$ ؛ $t_{c_2} = 65°C$ ؛ $t_{c_1} = 25°C$

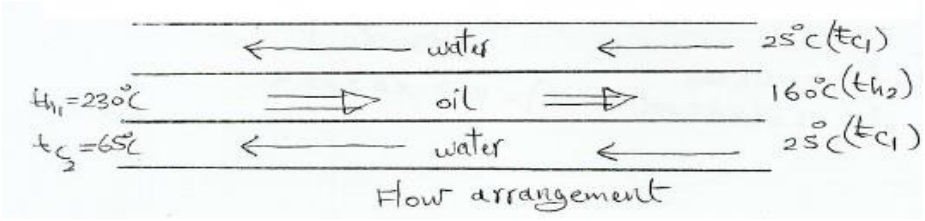
$U = 420W/m^2K$ ؛ $t_{h_2} = 160°C$ ؛ $t_{h_1} = 230°C$.

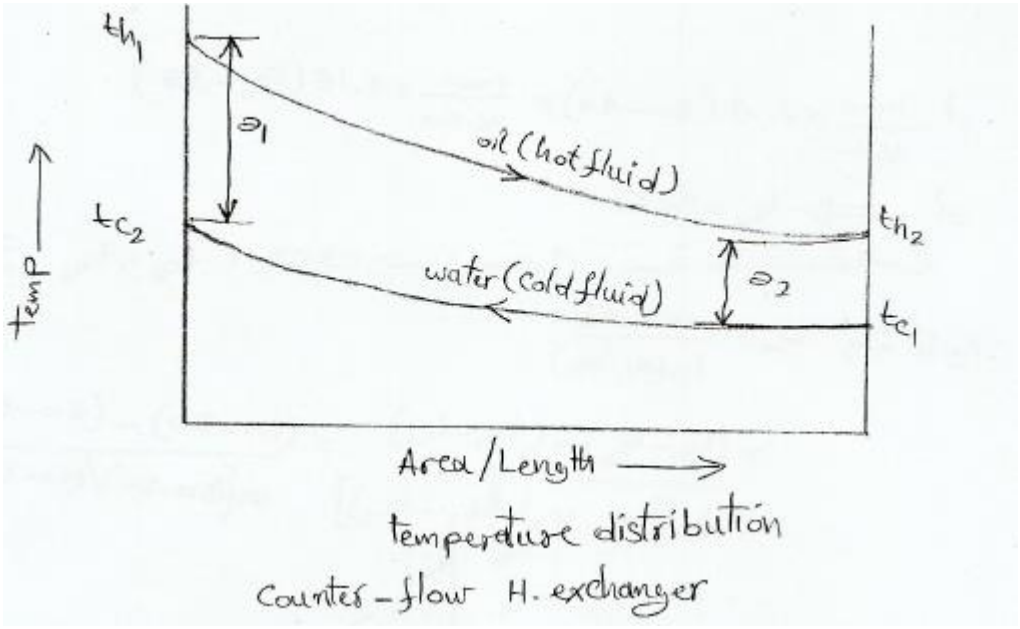
i/ معدَّل إنتقال الحرارة،

$$\begin{aligned} Q &= \dot{m}_h \times C_h \times dt_h \\ &= \dot{m}_h \times C_h \times (t_{h_1} - t_{h_2}) \\ &= 0.9 \times 1.45 \times (230 - 160) = \underline{\underline{91.35}}\ kj/s \end{aligned}$$

ii/ معدَّل سريان كتلة الماء، $\dot{m}_c$

$$\begin{aligned} \dot{m}_h \times C_h \times (t_{h_1} - t_{h_2}) &= \dot{m}_c \times C_c \times (t_{c_2} - t_{c_1}) \\ 91.35 &= \dot{m}_c \times 4.187 \times (65 - 25) \\ \Rightarrow \quad \dot{m}_c &= \underline{\underline{0.545}}\ kg/s \end{aligned}$$





iii/ مساحة المبادل الحراري، A:-

$$(\mathrm{LMTD}),\theta_m=\frac{\theta_1-\theta_2}{\ln\frac{\theta_1}{\theta_2}}=\frac{(t_{h_1}-t_{c_2})-(t_{h_2}-t_{c_1})}{\ln\left\{\frac{t_{h_1}-t_{c_2}}{t_{h_2}-t_{c_1}}\right\}}=\frac{(230-65)-(160-25)}{\ln\left\{\frac{230-65}{160-25}\right\}}$$

$$\theta_m=\frac{165-135}{\ln\left\{\frac{165}{135}\right\}}=\underline{149.5}\ ^\circ\mathrm{C}\quad \text{أو}$$

$$Q=UA\theta_m=U\times(\pi d_o L)\times\theta_m\quad ،\text{أيضاً}$$

$$A=\frac{Q}{UA\theta_m}=\frac{91.35\times10^3}{420\times149.5}=\underline{\underline{1.45}}\,\mathrm{m}^2\quad \text{أو}$$

المسألة (8):-

مبرَّد زيت لنظام تزليق يقوم بتبريد 1000kg/h من الزيت (C=2.09kj/kg°C) من 80°C إلي 40°C بإستخدام ماء تبريد مقداره 1000kg/h عند 30°C. إعط إختيارك إما لمبادل

حراري ذو سريان متوازي أو ذو سريان متعاكس مع ذكر الأسباب. أحسب مساحة سطح المبادل الحراري، إذا كان معامل إنتقال الحرارة الإجمالي هو $24kj/m^2°C$.

خذ C للماء = $4.18kj/kg°C$.

الحل:-

معطي: $\dot{m}_h = \frac{1000}{3600} kg/s$ ؛ $C_h = 2.09kj/kgK$ ؛ $C_c = 4.18kj/kgK$ ؛

$\dot{m}_c = \frac{1000}{3600} kg/s$ ؛ $t_{h_1} = 80°C$ ؛ $t_{h_2} = 40°C$ ؛ $t_{c_1} = 30°C$ ؛ $U = 24W/m^2K$.

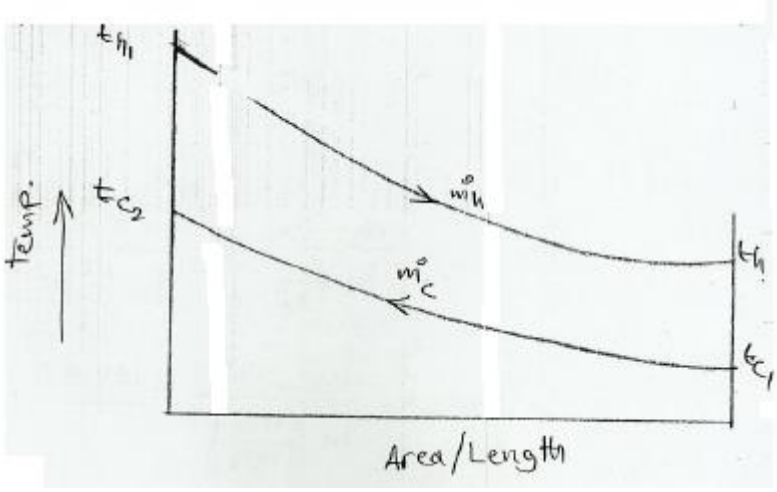
معدَّل إنتقال الحرارة، $Q = \dot{m}_h \times C_h (t_{h_1} - t_{h_2}) = \dot{m}_c \times C_c (t_{c_2} - t_{c_1})$

أو $\frac{1000}{3600} \times 2.09 \times (80-40) = \frac{1000}{3600} \times 4.18 \times (t_{c_2} - 30)$

أو $\Rightarrow \quad \therefore t_{c_2} = \underline{50}\,°C$

مرة ثانية، $\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}}$

$$= \frac{(t_{h_1} - t_{c_2}) - (t_{h_2} - t_{c_1})}{\ln(t_{h_1} - t_{c_2})/(t_{h_2} - t_{c_1})} = \frac{(80-50)-(40-30)}{\ln[(80-50)-(40-30)]}$$



$$\theta_m = \frac{30-10}{\ln(30/10)} = \underline{18.2}\,°C$$

أيضاً ، $Q = UA\theta_m$

$$\frac{1000}{360} \times (2.09 \times 10^3)(80 - 40) = 24 \times A \times 18.2$$

$$\text{or} \quad \Rightarrow A = \underline{\underline{53.16}}\, m^2$$

المسألة (9):-

وضِّح أنَّه لمبادل حراري مزدوج الأنبوب متعاكس السريان إذا كان $\dot{m}_h C_h = \dot{m}_c C_c$ فإنَّ خطوط درجة الحرارة للمائعين على إمتداد طول المبادل الحراري هما خطوط مستقيمة متوازية.

الحل:-

لمبادل حراري،

$$dQ = -\dot{m}_h C_h dt_h = \dot{m}_c C_c dt_c$$
$$= -C_h dt_h = C_c dt_c$$

تنخفض درجة حرارة المائع الساخن بمقدار dt_h

تزيد درجة حرارة المائع البارد بمقدار dt_c

معطي،

$$\dot{m}_h C_h = \dot{m}_c C_c$$

أو $$C_h = C_c$$

حيث C_h = السعة الحرارية للمائع الساخن

C_c = السعة الحرارية للمائع البارد.

في مبادل حراري متعاكس السريان تنخفض درجة حرارة كل من المائعين في إتجاه طول المبادل الحراري، عليه

$$dQ = -C_h dt_h = -C_c dt_c$$

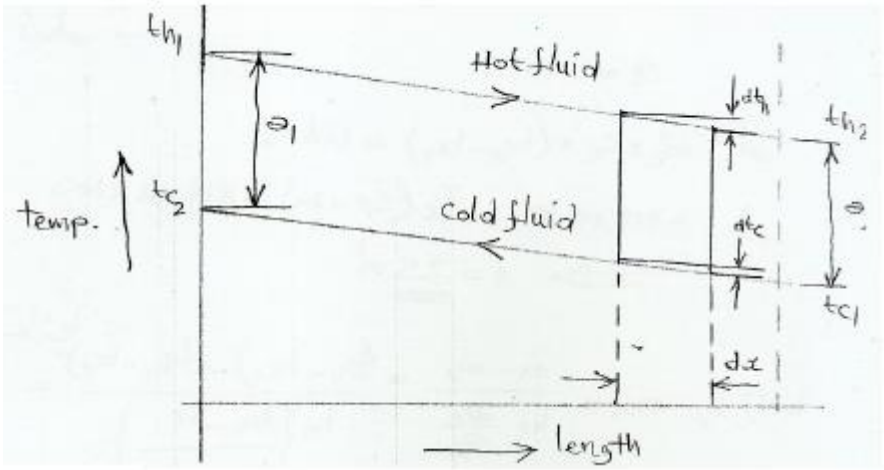
$$dt_h = -\frac{dQ}{C_h} \qquad \text{and} \qquad dt_c = -\frac{dQ}{C_c}$$

أو $dt_h - dt_c = d\theta = -dQ\left[\frac{1}{C_h} - \frac{1}{C_c}\right]$

بما أنَّ، $C_h = C_c$

$$d\theta = 0 \quad \text{or} \quad \theta = \text{constant}$$

بالتالي، كلا الخطان المستقيمان اللذان يوضحان تفاوت درجات الحرارة بطول المبادل الحراري هما خطان مستقيمان.



المسألة (10):-

مبادل حراري متعاكس السريان مزدوج الأنبوب يستخدم بخار محمَّص يتم إستخدامه لتسخين ماء بمعدَّل 10,500kg/h. يدخل البخار إلي المبادل الحراري عند 180°C ويغادر عند 130°C. درجات حرارة مدخل ومخرج الماء هي 30°C و80°C على الترتيب. إذا

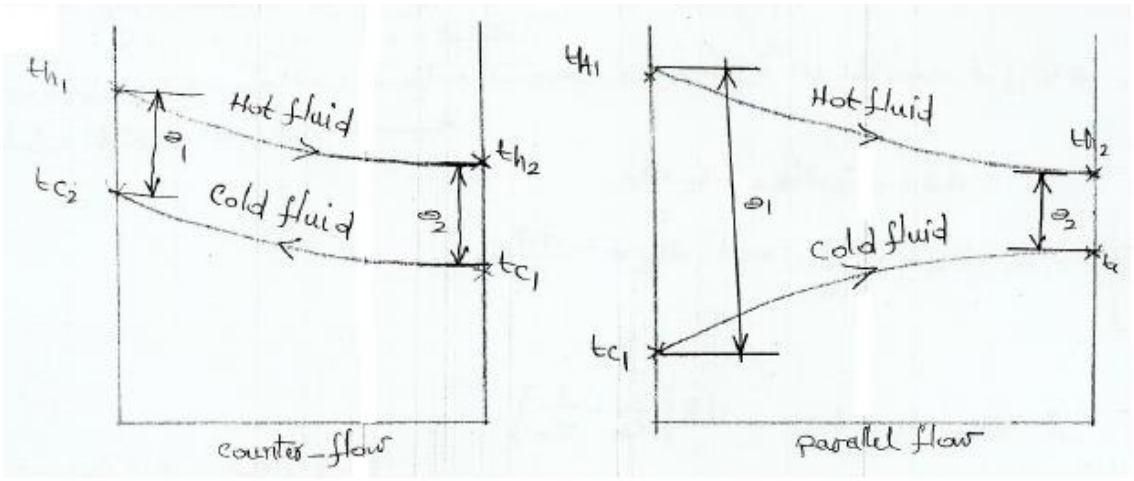
كـان معامـل إنتقـال الحـرارة الإجمـالي مـن البخـار إلـي المـاء هـو $814W/m^{2}°C$، أحسـب مساحة إنتقال الحرارة. كم ستكون الزيادة المئوية في المساحة إذا كان السريان متوازياً؟

الحل:-

معطي: $\dot{m}_w = \dot{m}_c = \frac{10500}{3600} = 2.917kg/s$ ؛ $t_{h_1} = 180°C$ ؛ $t_{h_2} = 130°C$ ؛

$t_{c_1} = 30°C$ ؛ $t_{c_2} = 80°C$ ؛ $U = 814W/m^2K$.

i/ عندما يكون السريان متعاكساً،



$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln\left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right)}$$

في هذه الحالة.

$$\theta_m = \frac{0}{0} \qquad \text{(indefinite value)}$$

بما أنَّ $\theta_1 = \theta_2 = 100°C$

معدَّل إنتقال الحرارة يُعطي بـ

$$Q = UA\theta_m$$

أو $\dot{m}_c \times C_c\left(t_{c_2} - t_{c_1}\right) = UA\theta_m$

أو $2.917 \times 4.187 \times (80-20) = 814 \times A \times 100$

$$\Rightarrow \quad A = \underline{\underline{7.5}}\,m^2$$

ii/ عندما السريان متوازياً،

$$(LMTD), \theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln\frac{\theta_1}{\theta_2}} = \frac{\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right) - \left(t_{h_2} - t_{c_2}\right)}{\ln\left\{\frac{t_{h_1} - t_{c_1}}{t_{h_2} - t_{c_2}}\right\}} = \frac{150-50}{\ln\left\{\frac{150}{50}\right\}}$$

$$= \underline{91}\,°C$$

مرة أخري، $Q = UA\theta_m$

أو $2.917 \times \left(4.187 \times 10^3\right)(80-30) = 814 \times A \times 91$

$$\Rightarrow A = \underline{\underline{8.24}}\,m^2$$

$$\text{الزيادة المئوية في المساحة} = \frac{8.24 - 7.5}{7.5} = 0.0987 \text{ or } \underline{\underline{9.87}}\ \%$$

المسألة (11):-

مبادل حراري متعاكس السريان، يمر من خلاله هواء بمعدَّل 12.5kg/s ليتم تبريده من 540°C إلي 146°C، يحتوي المبادل الحراري على 4200 أنبوب، قطر كلٍ منها 30mm. درجات حرارة مدخل ومخرج ماء التبريد هما 25°C و 75°C على الترتيب. إذا تم تجاهل مقاومة السريان على جانب الماء، أحسب طول الأنبوب المطلوب لهذه الخدمة.

لسريان مضطرب داخل الأنابيب:- $Nu = 0.023\ Re^{0.8}\ Pr^{0.4}$

خواص الهواء عند متوسط درجة الحرارة تكون كما يلي:-

$\mu = 2.075\times10^{-5}\,kg/ms\left(Ns/m^2\right)$ ؛ $c_p = 1.0082kj/kg°C$ ؛ $\rho = 1.009kg/m^3$ ،

$k = 3.003\times10^{-2}\,W/m^2°C$.

الحل:-

معطي: $\dot{m}_h = 12.5kg/s$ ؛ $t_{h_1} = 540°C$ ؛ $t_{h_2} = 146°C$ ؛ $t_{c_1} = 25°C$ ؛

$t_{c_2} = 75°C$ ؛ $n = 4200$ ؛ $d = 30mm = 0.03m$.

رقم رينولد ، $Re = \dfrac{\rho v d}{\mu}$

معدَّل سريان الكتلة $\dot{m} = \rho Q = \rho A v n$

$$\rho v = \frac{\dot{m}}{nA}$$

$$\therefore Re = \frac{\dot{m}d}{nA\mu} = \frac{12.5\times0.03}{4200\times\frac{\pi}{4}\times(0.03)^2\times2.075\times10^{-5}} = \underline{6057.4}$$

رقم براندتل ، $Pr = \dfrac{\mu c_p}{k} = \dfrac{2.075\times10^{-5}\times1.0082\times10^3}{3.003\times10^{-2}} = \underline{0.6966}$

رقم نسيلت ، $Nu = \dfrac{hd}{k} = 0.023Re^{0.8}\,Pr^{0.4}$

$$= 0.023\times(6087.4)^{0.8}\times(0.6966)^{0.4} = \underline{21.2}$$

$$h = \frac{Nu.k}{d} = \frac{21.2\times3.003\times10^{-2}}{0.03} = \underline{21.22}W/m^2°C$$

بما أنَّ مقاومة جانب الماء للسريان يتم تجاهلها

$$\therefore \frac{1}{U} = \frac{1}{h} = \frac{1}{21.22} \qquad \text{or} \quad U = \underline{21.22}W/m^2°C$$

$$(\text{LMTD}),\theta_m = \frac{\theta_1-\theta_2}{\ln\left\{\frac{\theta_1}{\theta_2}\right\}} = \frac{(t_{h_1}-t_{c_2})-(t_{h_2}-t_{c_1})}{\ln\left\{\frac{t_{h_1}-t_{c_2}}{t_{h_2}-t_{c_1}}\right\}} = \frac{(540-75)-(146-25)}{\ln\left\{\frac{540-75}{146-25}\right\}}$$

$$= \frac{(465-121)}{\ln\left\{\frac{465}{121}\right\}} = \underline{255.5}\,^\circ\text{C}$$

معدَّل إنتقال الحرارة $Q = \dot{m}_h \times C_h \times (t_{h_1}-t_{h_2}) = UA\theta_m = U\times(n\pi dL)\times\theta_m$،

أو $$L = \frac{\dot{m}_h \times C_h \times (t_{h_1}-t_{h_2})}{U\times n\pi d\times\theta_m} = \frac{12.5\times(1.0082\times10^3)\times(540-146)}{21.22\times4200\times\pi\times0.03\times255.5}$$

$$= \underline{\underline{2.31}}\text{m}$$

المسألة (12):-

يدخل بخار إلي مبادل حراري متعاكس السريان، جاف مشبَّع عند 10bar ويغادر عند 350°C. معدل سريان كتلة البخار 800kg/min. يدخل الغار المبادل الحراري عند 650°C وبمعدَّل سريان كتلة 1350kg/min. إذا كانت الأنابيب بقطر 30mm وبطول 3m، حدِّد عدد الأنابيب المطلوبة. تجاهل مقاومة الأنابيب المعدنية. إستخدم البيانات التالية:-

للبخَّار:- $t_{sat.}$ 18°C عند 10bar؛ $C_s = 2.71\text{kj/kg°C}$؛ $h_s = 600\text{Wm}^2\text{°C}$.

للغاز:- $C_g = 1\text{kj/kg°C}$؛ $h_g = 250\text{W/m}^2\text{°C}$.

الحل:-

معطي: $\dot{m}_s = \dot{m}_c = \frac{800}{60} = 13.33\text{kg/s}$؛ $\dot{m}_g = \dot{m}_h = \frac{1350}{60} = 22.5\text{kg/s}$؛

$t_{c_1} = t_{sat.} = 180°\text{C}$؛ $t_{h_1} = 650°\text{C}$؛ $t_{c_2} = 350°\text{C}$؛ $d = 30\text{mm} = 0.3\text{m}$؛

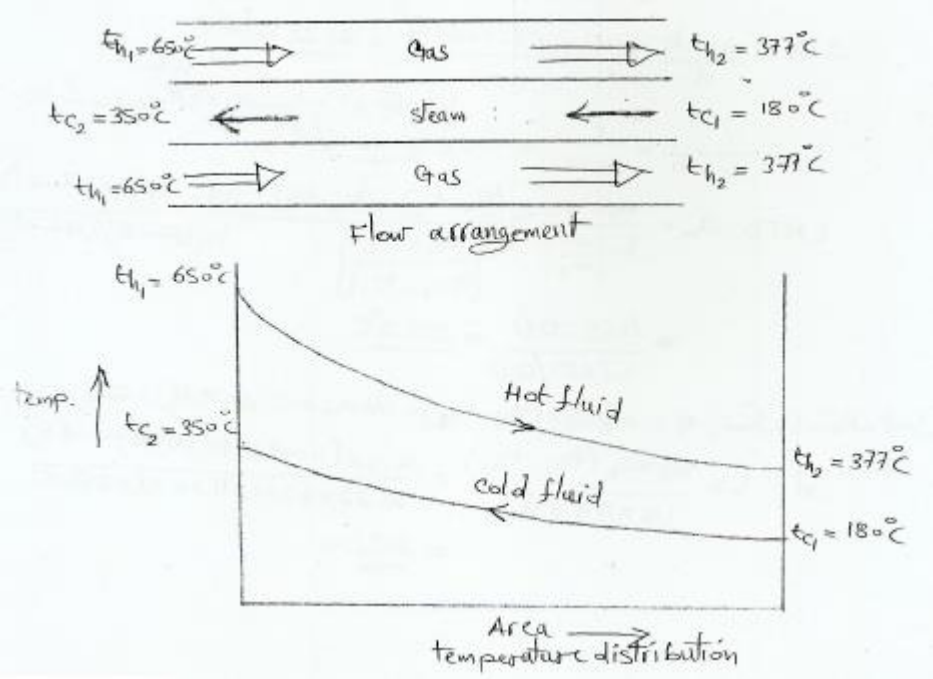
L=3m.

الحرارة المكتسبة بواسطة البخار = الحرارة المفقودة بواسطة الغاز

$$\dot{m}_h C_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) \quad = \quad \dot{m}_c C_c \left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$

$$22.5 \times 1 \times \left(650 - t_{h_2}\right) = 13.33 \times 2.71 \times \left(350 - 180\right)$$

$$\Rightarrow \qquad \therefore t_{h_2} = \underline{377}\,^{\circ}\mathrm{C}$$



معامل إنتقال الحرارة الإجمالي يُعطي بـ،

$$\frac{1}{UA_o} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{1}{h_o A_o}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{A_o}{A_i} \cdot \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

بما أن $d_i \approx d_o$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{600} + \frac{1}{250} = \underline{5.667 \times 10^{-3}}$$

$$U = \underline{176.5}\ \mathrm{W/m^2\,^{\circ}C}$$

معدَّل إنتقال الحرارة الكلي يُعطي بـ،

$$Q = UA\theta_m \qquad \text{(i)}$$

حيث، $A = n\pi dL = n\pi \times 0.03 \times 3 = 0.2827n \ m^2$

$$Q = 22.5 \times 1 \times 10^3 (650 - 377) = 6142.5 \times 10^3 \ W$$

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln\left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right)} = \frac{(t_{h_1} - t_{c_2}) - (t_{h_2} - t_{c_1})}{\ln\left\{\frac{t_{h_1} - t_{c_2}}{t_{h_2} - t_{c_1}}\right\}} =$$

$$= \frac{(650 - 350) - (377 - 180)}{\ln\left\{\frac{(650 - 350)}{(377 - 180)}\right\}} = \frac{300 - 197}{\ln\left\{\frac{300}{197}\right\}}$$

$$= \underline{244.9} \ °C$$

بتعويض القيم في المعادلة (i)، نحصل على

$$6142.5 \times 10^3 = 176.5 \times 0.2827n \times 244.9$$

أو $\Rightarrow$ $n = \underline{\underline{503}}$ tubes

المسألة (13):-

في مبادل حراري ذو غلاف وأنابيب متعاكس السريان ينساب ماء خلال أنبوب نحاسي بقطر داخلي 20mm وقطر خارجي 23mm، بينما يدخل الزيت عند 75°C ويغادر عند 60°C. معاملات إنتقال الحرارة للماء والزيت هما $4500 W/m^2°C$ و $1250 W/m^2°C$ على الترتيب. الموصلية الحرارية لجدار الأنبوب هي 355W/m°C. عوامل الإتساخ على جانبي الماء والزيت يمكن أخذهما كـ 0.0004 و 0.001 على الترتيب. إذا كان طول الأنبوب هو 2.4m، أحسب الآتي:-

i/ معامل إنتقال الحرارة الإجمالي.

ii/ معامل إنتقال الحرارة.

الحل:-

معطي:- $d_i=20mm=0.02m$ ؛ $d_o=23mm=0.023m$ ؛ $t_{c_1}=20°C$ ؛

$t_{c_2}=30°C$ ؛ $t_{h_1}=75°C$ ؛ $t_{h_2}=60°C$ ؛ $h_i=4500W/m^2°C$ ؛

$h_o=1250W/m^2°C$ ؛ $k=355W/m°C$ ؛ $R_{f_i}=0.0004$ ؛ $R_{f_o}=0.0004$ ؛

$L=2.4m$.

$$\frac{1}{UA_o}=\frac{1}{h_iA_i}+R_{f_i}\frac{1}{A_i}+\frac{\ln(r_i/r_o)}{2\pi kL}+\frac{1}{h_oA_o}+R_{f_o}\frac{1}{A_o}$$

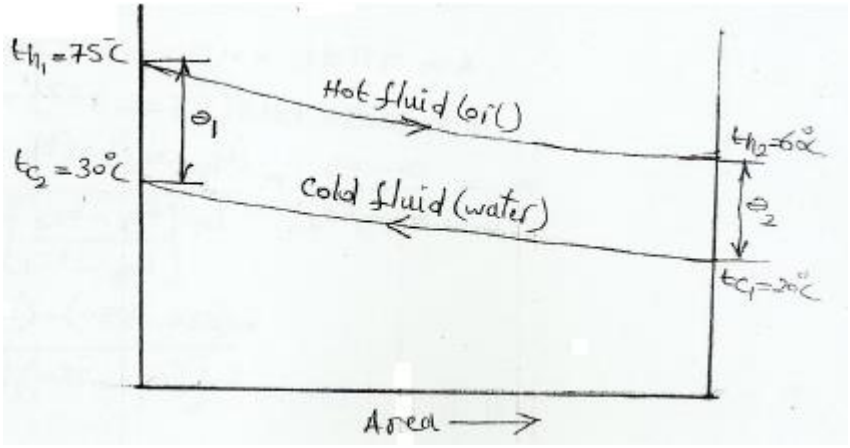
$$\frac{1}{U}=\frac{A_o}{A_i}\frac{1}{h_i}+R_{f_i}\frac{A_o}{A_i}+\frac{A_o\ln(r_i/r_o)}{2\pi kL}+R_{f_o}+\frac{1}{h_o}$$

$$\frac{1}{U}=\frac{2\pi r_o}{2\pi r_i}\frac{1}{h_i}+R_{f_i}\frac{2\pi r_o}{2\pi r_i}+\frac{2\pi r_o\ln(r_i/r_o)}{2\pi kL}+R_{f_o}+\frac{1}{h_o}$$

$$\frac{1}{U}=\frac{r_o}{r_i}\frac{1}{h_i}+R_{f_i}\frac{r_o}{r_i}+\frac{r_o}{k}\ln(r_i/r_o)+R_{f_o}+\frac{1}{h_o}$$

$$\frac{1}{U}=\left[\frac{(0.023/2)}{(0.02/2)}\right]\times\frac{1}{4500}+\left[\frac{(0.023/2)}{(0.02/2)}\right]\times 0.0004$$
$$+\frac{(0.023/2)}{355}\ln\left[\frac{(0.023/2)}{(0.02/2)}\right]+0.001+\frac{1}{1250}$$
$$=\underline{0.00252}$$

$$\therefore U=\underline{\underline{396.8}}\ W/m^2°C$$



$A=\pi d_oL$، معامل التبادل الحراري

$$= \pi \times 0.023 \times 2.4$$
$$= \underline{0.1734}\ \mathrm{m}^2$$

$$\mathrm{LMTD}, \theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln\left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right)}$$
$$= \frac{(75-30)-(60-20)}{\ln\left[\frac{75-30}{60-20}\right]} = \frac{45-40}{\ln\left[\frac{45}{40}\right]} = \underline{42.45}\,^{\circ}\mathrm{C}$$

المسألة (14):-

في مبادل حراري متعاكس السريان مزدوج الأنبوب يسري ماء خلال أنبوب نحاسي بقطر خارجي 19mm وقطر داخلي 16mm بمعدَّل سريان 1.48m/s. يسري الزيت خلال الفجوة أو الحلقة الخارجية المكوِّنة من أنبوب النحاس الداخلي وأنبوب الفولاذ الخارجي الذي قطره الخارجي 30mm والداخلي 26mm. يتم عزل أنبوب الفولاذ من الخارج. يدخل الزيت بمعدَّل 0.4kg/s ويتم تبريده من 65°C إلي 50°C بينما يدخل الماء عند 32°C. بتجاهل المقاومة الحرارية لجدار أنبوب النحاس، أحسب طول الأنبوب المطلوب.

البيانات المعطاة:-

$$\mathrm{Nu} = 0.023\ (\mathrm{Re})^{0.8}\ (\mathrm{Pr})^{0.4}$$

عامل الإتساخ على جانب الماء. = $0.0005 \mathrm{m}^2\mathrm{K/W}$

عامل الإتساخ على جانب الزيت. = $0.0008 \mathrm{m}^2\mathrm{K/W}$

خواص الماء والزيت:-

الخاصية	الزيت	الماء
ρ (kg/m^3)	850	995
c_p = (kj/kgK)	1.89	4.137
k = (W/mK)	0.138	0.615

$\nu(m^2/s)$	7.44×10^{-6}	4.18×10^{-7}

الحل:-

معطي:- القطر الداخلي لأنبوب النحاس $(d_i)_c = 16mm = 0.016m$

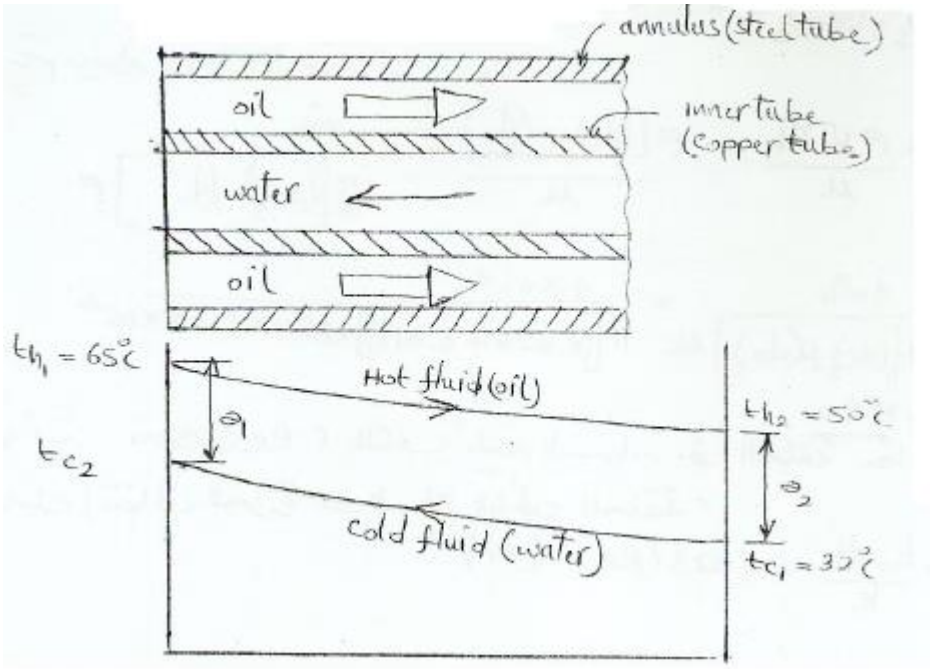
القطر الخارجي لأنبوب النحاس $(d_o)_c = 19mm = 0.019m$

القطـــر الداخلي لأنبوب الـــفولاذ $(d_i)_s = 26mm = 0.026m$

القطر الخارجي لأنبوب الـــفولاذ $(d_o)_s = 30mm = 0.03m$

$$t_{h_2} = 50°C \; ؛ t_{h_1} = 65°C \; ؛ t_{c_1} = 30°C$$

$$\dot{m}_c = \rho A v = 995\times\frac{\pi}{4}\times0.016^2\times1.48 = \underline{0.296}\ kg/s \ ; \ \dot{m}_c = 0.4kg/s$$



معدَّل إنتقال الحرارة، $Q = \dot{m}_h C_h (t_{h_1} - t_{h_2}) = \dot{m}_c C_c (t_{c_2} - t_{c_1})$

$$= 0.4\times1.89\times(65-50) = 0.296\times4.178\times(t_{c_1} - 32)$$

$$\Rightarrow \qquad \therefore t_{c_1} = \underline{41}°C$$

أيضاً، $Q = 0.4\times0.189\times(65-50) = \underline{11.34}\,kW$

خذ رقم رينولد لسريان ماء خلال أنبوب نحاسي،

$$\mathrm{Re} = \frac{4\dot{m}}{\pi(d_i)\mu}$$

$$\therefore \mathrm{Re} = \frac{4 \times 0.296}{\pi \times 0.06\left(995 \times 4.18 \times 10^{-7}\right)} = \underline{56826} \quad \because (\mu = \rho\nu)$$

أو $\mathrm{Re} = \dfrac{\rho v d}{\mu} = \dfrac{\nu d}{\nu} = \dfrac{1.48 \times 0.016}{4.18 \times 10^{-6}} = \underline{56826}$

الأن ، $\mathrm{Nu} = 0.023(\mathrm{Re})^{0.8}(\mathrm{Pr})^{0.4}$ (معطي)

$$\mathrm{Nu} = 0.023(56826)^{0.8}\left[\frac{\mu c_p}{k}\right]^{0.4}$$

$$= 0.023(56826)^{0.8}\left[\frac{995 \times 4.18 \times 10^{-7} \times 4.187 \times 10^{3}}{0.615}\right] = 14$$

(بما أنَّ $\mathrm{Pr} = \dfrac{\mu c_p}{k}$ ويتم تسخين الماء)

أيضاً ، $\mathrm{Nu} = \dfrac{h_i (d_i)_c}{k} = 14$

أو $h_i = \dfrac{14 \times 0.615}{0.016} = \underline{538.1}\,\mathrm{W/m^2K}$

يسري الزيت خلال قطر حلقي، بالتالي القطر الهايدروليكي

$$d_h = (d_i)_s - (d_i)_c = 0.026 - 0.019 = \underline{0.007}\ \mathrm{m}$$

رقم رينولد خلال الحلقة،

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho v d_h}{\mu} = \frac{\rho\left[(d_i)_s - (d_o)_c\right]}{\mu} \times \frac{\min}{\frac{\pi}{4}\left[(d_i)_s^2 - (d_o)_c^2\right]\rho}$$

$$= \frac{4\,\text{min}}{4\left[(d_i)_s - (d_o)_c\right]\mu} = \frac{4\times 0.4}{\pi\left[(0.026-0.019)\right]\times 850\times 7.44\times 10^{-6}}$$

$$\approx \underline{1790}$$

بما أنَّ $\text{Re} < 2500$، بالتالي يكون السريان في الحلقة رقائقياً،

معامل إنتقال الحرارة عند السطح الداخلي للحلقة،

$$\text{Nu} = \frac{h_o dt}{k} = 0.023(\text{Re})^{0.8}(\text{Pr})^{0.4}$$

$$\text{Pr} = \frac{\mu c_p}{k} = \frac{(850\times 7.44\times 10^{-6})\times 1.89}{0.138} = \underline{0.0866}$$

$$\therefore \frac{h_o \times 0.007}{0.138} = 0.023(1790)^{0.8}(0.0866)^{0.4} = 3.46$$

أو $$h_o = \frac{3.46\times 0.138}{0.007} = \underline{68.2}\ \text{W/m}^2\text{K}$$

معامل إنتقال الحراري الإجمالي المؤسس على القطر الخارجي للأنبوب الداخلي يعطي بـ:-

$$U = \frac{1}{\frac{(r_o)_c}{(r_i)_c}\cdot\frac{1}{h_i} + \frac{(r_o)_c}{(r_i)_c}R_{f_i} + \frac{(r_o)_c}{k}\ln\left[\frac{(r_o)_c}{(r_i)_c}\right] + R_{f_o} + \frac{1}{h_o}}$$

$$= \frac{1}{\left[\frac{0.019}{0.016}\right]\times\frac{1}{538.1} + \left[\frac{0.019}{0.016}\right]\times 0.0005 + \frac{0.019}{0.615}\ln\left[\frac{0.019}{0.016}\right] + 0.0008 + \frac{1}{68.2}}$$

$$= \frac{1}{0.0023 + 0.000594 + 0.003509 + 0.0008 + 0.01466}$$

$$= \underline{42.43}\ \text{W/m}^2\text{K}$$

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln\left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right)} = \frac{\left(t_{h_1} - t_{c_2}\right) - \left(t_{h_2} - t_{c_1}\right)}{\ln\left[\frac{t_{h_1} - t_{c_2}}{t_{h_2} - t_{c_1}}\right]} =$$

$$= \frac{(65-41)-(50-32)}{\ln\left[\frac{65-41}{50-32}\right]} = \frac{24-18}{\ln\left[\frac{24}{18}\right]} = \underline{20.86}\,°C$$

$$= \underline{244.9}\,°C$$

معدَّل إنتقال الحرارة يعطي بـ،

$$Q = UA\theta_m = 42.43 \times (\pi \times 0.019 \times L) \times 20.86 = \underline{11.34 \times 10^3}\ W$$

$$\therefore L = \frac{Q}{A\theta_m} = \frac{11.34 \times 10^3}{42.43 \times (\pi \times 0.019) \times 20.86} = \underline{\underline{214.6}}\,m$$

المسألة (15):-

بخار يتكثَّف عند الضغط الجوي على السطح الخارجي لأنابيب مكثَّف بخار. عدد الأنابيب 12 وكُلٍ منها بقطر 30mm و طول 10mm. درجات حرارة مدخل ومخرج ماء التبريد المنساب داخل الأنابيب هما 25°C و 60°C على الترتيب. إذا كان معدل السريان هو 1.1kg/s، أحسب الآتي:-

i/ معدَّل تكثُّف البخار.

ii/ متوسط معامل إنتقال الحرارة الإجمالي مؤسساً على مساحة السطح الداخلي.

iii/ عدد وحدات إنتقال الحرارة.

iv/ فاعلية المكثَّف.

الحل:-

معطي:- $n = 1$ ؛ $d_i=30mm=0.03m$ ؛$L = 10m$ ؛$t_{c_1} = 25°C$ ؛$t_{c_2} = 60°C$ ؛

$\dot{m}_w = \dot{m}_c = 1.1kg/s$ ؛$t_{h_1} = t_{h_2} = 100°C$.

i/ الحرارة المكتسبة بواسطة الماء = الحرارة المفقودة من البخار

$$\dot{m}_s \times h_{f_g} = \dot{m}_c \times C_c\left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$

حيث h_{f_g} هي الحرارة الكامنة للبخار عند الضغط الجوي = 225kj/kg. بتعويض القيَّم نحصل على:-

$$\dot{m}_s \times 2257 = 1.1 \times 4.187 \times (60 - 25)$$

أو $\dot{m}_s = \underline{0.0717} kg/s = \underline{\underline{257}} kg/h$

ii/ معدَّل إنتقال الحرارة الكلي يُعطي بـ،

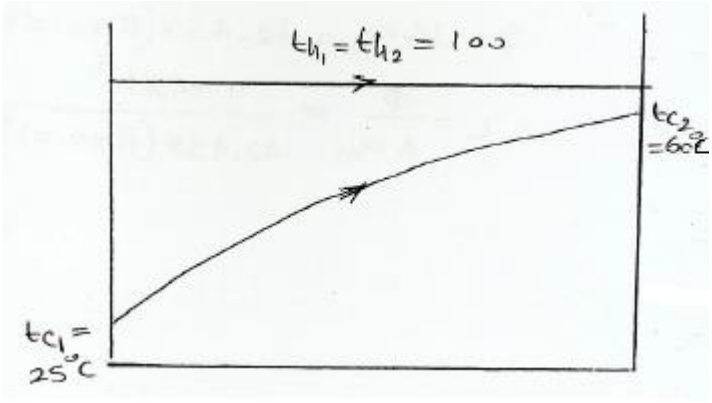
$$Q = \dot{m}_c \times C_c\left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$
$$= 1.1 \times 4.187 \times 10^3 \times (60 - 25) = \underline{161199.5} J/s$$

أيضاً، $Q = UA\theta_m$

حيث، $\theta_m = \dfrac{\theta_1 - \theta_2}{\ln\left(\dfrac{\theta_1}{\theta_2}\right)}$

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln\left(\dfrac{\theta_1}{\theta_2}\right)} = \frac{(100-25)-(100-60)}{\ln\left[\dfrac{100-25}{100-60}\right]}$$
$$= \frac{78-40}{\ln\left[\dfrac{75}{40}\right]} = \underline{55.67}°C$$

و $A = \pi dLn = \pi \times 0.03 \times 10 \times 12 = \underline{11.31}\ m^2$



بالتعويض في المعادلة عاليه، نحصل على،

$$161199.5 = U \times 11.31 \times 55.68$$

أو $U = \underline{\underline{255.9}}\, W/m^2 °C$

iii/ عدد وحدات إنتقال الحرارة، NTU:

في مكثَّف، C_{max} ترجع إلي المائع الساخن الذي يبقي عند درجة حرارة ثابتة. بالتالي، C_{min} ترجع إلي الماء.

$$C_{min} = \dot{m}C_c = 1.1 \times (4.187 \times 10^3) = \underline{4605.7}\, W/°C$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{255.9 \times 11.31}{4605.7} = \underline{\underline{0.628}}$$

iv/ فاعلية المكثَّف، $\in$:-

لمكثَّف $\quad \in = 1 - e^{-NTU}$

أو $\quad \in = 1 - e^{-0.628} = \underline{\underline{0.47}}$

المسألة (16):-

بخار عند ضغط جوي يدخل غلاف مكثَّف سطحي يسري فيه ماء خلال مجموعة من أنابيب بقطر 25mm وبمعدَّل 0.05kg/s. درجات الحرارة لمدخل ومخرج الماء هما 15°C

و 70°C على الترتيب. يحدث التكثُّف على السطح الخارجي للأنابيب. إذا كان معامل إنتقال الحرارة الإجمالي هو $230W/m^{2}°C$، أحسب الآتي مستخدماً أسلوب عدد وحدات إنتقال الحرارة (NTU):-

i/ فاعلية المبادل الحراري.

ii/ طول الأنبوب.

iii/ معدَّل تكثُّف البخار.

خذ الحرارة الكامنة للتبخُّر عند 100°C = 2257lj/kg.

الحل:-

معطي:- d=25mm=0.025m ؛ $\dot{m}_w = \dot{m}_c = 0.05kg/s$ ؛ $t_{c_1} = 15°C$ ؛

$U = 230W/m^{2}°C$ ؛ $t_{h_1} = 100°C$ ؛ $t_{c_2} = 70°C$

i/ فاعلية المبادل الحراري، $\in$:-

خلال المكثَّف يبقي المائع الساخن(البخار) عند درجة حرارة ثابتة. بالتالي C_{max} قيمتها لا نهائية وعليه تكون C_{min} للمائع البارد (i.e. water). عليه

$$\frac{C_{min}}{C_{max}} = 0$$

عندما تكون $C_h < C_c$، بالتالي تُعطي الفاعلية بـ

$$\in = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{t_{c_2} - t_{c_1}}{t_{h_1} - t_{h_2}} = \frac{70-15}{100-15} = \underline{\underline{0.647}}$$

ii/ طول الأنبوب، L:-

$$C_{min} = \dot{m}_c C_c = 0.05 \times 4.18 = \underline{0.029} \text{kj/K}$$

$$\text{، } \frac{C_{min}}{C_{max}} = R = 0$$

$$\in = 1 - e^{-NTU}$$

أو $0.647 = 1 - e^{-NTU}$

$$e^{-NTU} = 1 - 0.647 = 0.353$$
$$-NTU \ln e^{-1} = \ln 0.353$$
$$\therefore NTU = \frac{\ln 0.353}{-1} = \underline{1.04}$$

$$\text{لكن ، } NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{U \times \pi dL}{C_{min}}$$

$$\text{or } L = \frac{NTU \times C_{min}}{} = \frac{UA}{U\pi d} = \frac{1.04 \times (2.09 \times 10^3)}{230 \times \pi \times 0.025} = \underline{\underline{12}} \text{m}$$

iii/ معدَّل تكثُّف البخار، $\dot{m}_h$:-

مستخدماً موازنة الطاقة الإجمالية، نحصل على

$$\dot{m}_h . h_{f_g} = \dot{m}_c \times C_c (t_{c_2} - t_{c_1})$$
$$\dot{m}_h \times 2257 = 0.05 \times 4.18(70 - 15)$$
$$\text{or } \dot{m}_h = \underline{0.00509} \text{kg/s} \quad \text{or } \underline{\underline{18.32}} \text{ kg/h}$$

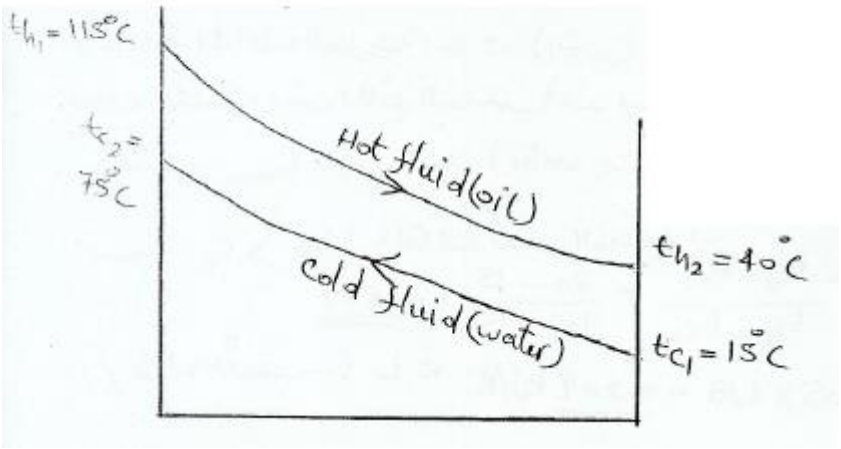
المسألة (17):-

يتم إستخدام مبادل حراري متعاكس السريان لتبريد 0.55kg/s (c_p = 2.45kj/kg°C) من الزيت من 115°C إلي 40°C بإستخدام الماء. درجات حرارة مدخل ومخرج ماء التبريد هما 15°C و 75°C على الترتيب. يتوقع أن يكون معامل إنتقال الحرارة الإجمالي مكافئاً لـ 1450W/m²°C. مستخدماً أسلوب عدد وحدات إنتقال الحرارة (NTU)، أحسب الآتي:-

i/ معدَّل سريان كتلة الماء.

ii/ فاعلية المبادل الحراري.

iii/ مساحة السطح المطلوبة.



الحل:-

معطي: $\dot{m}_{oil} = \dot{m}_h = 0.55 kg/s$ ؛ $C_h = 2.45 kj/kg°C$ ؛ $t_{h_1} = 115°C$ ؛

$U = 1450 W/m^2°C$ ؛ $t_{c_2} = 75°C$ ؛ $t_{c_1} = 15°C$ ؛ $t_{h_2} = 40°C$.

i/ معدَّل سريان كتلة الماء، $\dot{m}_c \left(= \dot{m}_w\right)$:-

يمكن إيجاد معدَّل سريان كتلة الماء باستخدام موازنة الطاقة الإجمالية

$$\dot{m}_h C_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = \dot{m}_c C_c \left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$
$$0.55 \times 2.45 (115 - 40) = \dot{m}_c \times 4.18 (75 - 15)$$
$$\therefore \Rightarrow \dot{m}_c = \underline{\underline{0.4}} \, kg/s$$

ii/ فاعلية المبادل الحراري، $\in$:-

السعة الحرارية للسريان البارد (ماء)،

$$C_C = \dot{m}_c c_C = 0.4 \times 4.18 = \underline{1.672} \; kW$$

السعة الحرارية للسريان الساخن (زيت)،

$$C_h = \dot{m}_h c_h = 0.55 \times 2.45 = \underline{1.347}\ \text{kW}$$

بما أنَّ $C_h > C_c$، بالتالي فإنَّ فاعلية المبادل الحراري تُعطي بـ

$$\in = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} = \frac{\text{الحرارة المنتقلة الفعلية}}{\text{الحرارة المنتقلة القصوي الممكنة}} = \frac{t_{h_1} - t_{h_2}}{t_{h_1} - t_{c_1}}$$

$$\therefore \in = \frac{115-40}{115-15} = \underline{\underline{0.75}}$$

iii/ مساحة السطح المطلوبة، A:-

$C_{max}=C_c=1.672kW$ و $C_{min}=C_h=1.347kW$

بالتالي، $$R = \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{1.347}{1.672} = \underline{0.806}$$

لمبادل حراري متعاكس السريان،

$$\in = \frac{1 - e^{-NTU(1-R)}}{1 - Re^{-NTU(1-R)}}$$

بعد إعادة الترتيب، نحصل على،

$$\frac{\in -1}{(\in R - 1)} = e^{-NTU(1-R)}$$

أو $$\frac{0.75-1}{(0.75 \times 0.806 - 1)} = e^{-NTU(1-0.806)}$$

أو $$0.632 = e$$

أو $$\ln 0.632 = -NTU \times 0.194 \ln e^{-1}$$

$$\therefore NTU = \underline{2.365}$$

أيضاً $$NTU = \frac{UA}{C_{min}}$$

$$2.365 = \frac{1450 \times A}{1.347 \times 10^3} \quad \text{أو}$$

$$\Rightarrow A = \underline{\underline{2.197}}\ m^2 \quad \text{أو}$$

المسألة (18):-

16.5kg/s مـن منـتج عنـد 650°C (c_p=3.55kj/kg°C)، فـي محطـة كيميائيـة يـتم إستخدامه لتسخين 205kg/s مائع داخل إلي المحطة عند 100°C(c_p=4.2kj/kg°C). إذا كان معامل إنتقال الحرارة الإجمالي هو 0.95kW/m^2°C ومساحة سطح إنتقال الحرارة هي 44m^2، أحسب درجة حرارة مخرج الماء لترتيبة سريان متعاكس وترتيبة سريان متوازي.

الحل:-

معطي: $\dot{m}_h = 16.5kg/s$ ؛ $t_{h_1} = 650°C$ ؛ C_h=3.55kj/kg°C ؛ $\dot{m}_c = 20.5kg/s$

$t_{c_1} = 100°C$ ؛ $C_c = 2.45kj/kg°C$ ؛ $U = 0.95kW/m^2°C$ ؛ $A = 44m^2$.

درجات حرارة مخرج المائع:-

الحالة (1)، ترتيبة السريان المتعاكس:-

$C_h = \dot{m}_h \times c_h = 16.5 \times 3.55 = \underline{58.6}$ kW، السعة الحرارية للمائع الساخن

$C_c = \dot{m}_c \times c_c = 20.5 \times 4.2 = \underline{86.1}$ kW، السعة الحرارية للمائع البارد

$$R = \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{58.6}{86.1} = \underline{0.68}$$

$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{0.95 \times 44}{58.6} = \underline{0.71}$، عدد وحدات إنتقال الحرارة

قيمة $\in$ (الفاعلية) لترتيبة سريان متعاكس تُعطي بـ

$$\in = \frac{1-e^{-NTU(1-R)}}{1-Re^{-NTU(1-R)}} = \frac{1-e^{-0.71(1-0.68)}}{1-0.68\times e^{-0.71(1-0.68)}} = \frac{0.2023}{0.4582} = \underline{0.443}$$

أيضاً ، $\in = \dfrac{C_h\left(t_{h_1}-t_{h_2}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1}-t_{c_1}\right)}$

بما أنَّ السعة الحرارية للمائع الساخن هي الأدنى، نحصل

$$\in = \frac{t_{h_1}-t_{h_2}}{t_{h_1}-t_{c_1}} = \frac{650-t_{h_2}}{650-100} = \underline{0.443}$$

أو $t_{h_2} = 650-0.443(650-100) = \underline{406.35}\,°C$

أيضاً ، $\in = \dfrac{C_c\left(t_{c_2}-t_{c_1}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1}-t_{c_1}\right)}$

$$0.443 = \frac{86.1(t_{c_2}-100)}{58.6(650-100)} = 0.002671(t_{c_2}-100)$$

$$\therefore t_{c_2} = \underline{\underline{265.8}}\,°C$$

الحالة (2):- ترتيبة السريان المتوازي:-

قيمة $\in$ لترتيبة السريان المتوازي تُعطي بـ

$$\in = \frac{1-e^{-NTU(1+R)}}{1+R}$$

$$= \frac{1-e^{-0.71(1+0.68)}}{1-0.68} = \frac{1-e^{-1.1928}}{1.68} = \underline{0.415}$$

أيضاً ، $\in = \dfrac{C_c\left(t_{c_2}-t_{c_1}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1}-t_{c_1}\right)}$

أو $0.415 = \dfrac{86.1(t_{c_2}-100)}{58.6(650-100)} = 0.002671(t_{c_2}-100)$

أو $\therefore t_{c_2} = \underline{\underline{255.4}}\,°C$

المسألة (19):-

زيت (c_p=3.6kj/kg°C) عند 100°C يسري بمعدَّل 30,000kg/h ويدخل إلي مبادل حراري متوازي السريان. ماء تبريد(c_p=4.2kj/kg°C) يدخل المبادل الحراري عند 30°C بمعدَّل 50,000kg/h. مساحة إنتقال الحرارة هي $10m^2$ و $U=1000W/m^{2}°C$.

أحسب الآتي:-

i/ درجة حرارة مخرج الزيت والماء.

ii/ درجة الحرارة القصوى الممكنة لمخرج الماء.

الحل:-

معطي: $\dot{m}_{oil} = \dot{m}_h = \frac{30,000}{3600} = 8.333kg/s$ ؛ C_h=3.6kj/kg°C ؛ $t_{h_1} = 100°C$ ؛

$\dot{m}_{water} = \dot{m}_c = \frac{50,000}{3600} = 13.89kg/s$ ؛ C_c = 4.2kj/kg°C ؛ $t_{c_1} = 10°C$ ؛

$A = 10m^2$ ؛ $U = 100W/m^{2}°C$.

i/ درجات حرارة مخرج الزيت والماء، t_{h_2} ، t_{c_2}:-

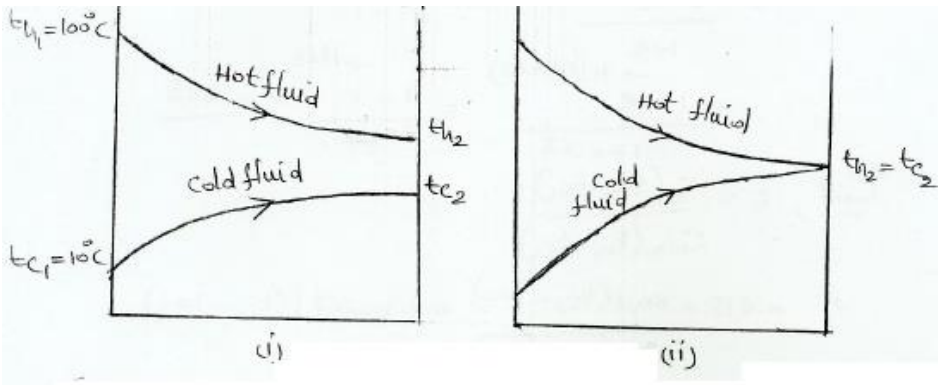
$$C_h = \dot{m}_h c_h = 8.333 \times (3.6 \times 10^3) = 30 \times 10^3 \quad = C_{min}$$
$$C_c = \dot{m}_c c_c \ = 13.89 \times (4.2 \times 10^3) = 58.34 \times 10^3 = C_{max}$$

$$R = \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{30 \times 10^3}{58.34 \times 10^3} = \underline{0.514}$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{1000 \times 10^3}{30 \times 10^3} = \underline{0.33}$$

لمبادل حراري متوازي السريان،

$$\in = \frac{1 - e^{-NTU(1+R)}}{1+R} = \frac{1 - e^{-0.33(1+0.514)}}{1-0.514} = \frac{1 - e^{-0.33 \times 1.514}}{1.68} = \underline{0.26}$$



أيضاً ، $\in = \dfrac{C_h\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)}$

أو $0.26 = \dfrac{30\times10^3\left(100 - t_{h_2}\right)}{30\times10^3\left(100-10\right)} = \dfrac{58.34\times10^3\left(t_{c_2} - 10\right)}{30\times10^3\left(100-10\right)}$

أو $0.26 = \left[\dfrac{100 - t_{h_2}}{100-10}\right] = 1.945\left[\dfrac{t_{c_2} - 10}{100-10}\right]$

$$\therefore t_{h_2} = 100 - 0.26\times90 = \underline{\underline{76.6}}\,^\circ C$$

و $$\therefore t_{c_2} = \frac{0.26\times90}{1.945} + 10 = \underline{\underline{22}}\,^\circ C$$

ii/ درجة الحرارة القصوى الممكنة لمخرج الماء، t_{c_2} :-

عندما يمتلك الماء أقصى درجة حرارة ممكنة فإنَّ،

$$t_{h_2} = t_{c_2}$$

$$\dot{m}_h c_h\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = \dot{m}_c c_c\left(t_{c_2} - t_{c_1}\right) \;\because t_{h_2} = t_{c_2}$$

أو $30\times10^3\times\left(100 - t_{c_2}\right) = 58.34\times10^3\times\left(t_{c_2} - 10\right)$

أو $100 - t_{c_2} = 1.945\times\left(t_{c_2} - 10\right) = 1.945 - 19.45$

$$\Rightarrow t_{c_2} = \underline{\underline{40.5}}\,^\circ C$$

المسألة (20):-

يتم إعطاء البيانات التالية لمبادل حراري متعاكس السريان:-

$\dot{m}_c = 0.25kg/s$ ؛ $\dot{m}_h = 1kg/s$

$C_c = 4.18kj/kg°C$ ؛$C_h=1.045kj/kg°C$

$t_{c_2} = 850°C$ ؛ $t_{h_1} = 1000°C$

$A = 10m^2$ ؛$U = 88.5W/m^2°C$

الحل:-

$$C_h = \dot{m}_h c_h = 1\times\left(1.045\times10^3\right) = \underline{1045}\ W/°C$$
$$C_c = \dot{m}_c c_c = 0.25\times\left(4.18\times10^3\right) = \underline{1045} W/°C$$

$$\therefore C_{min} = C_{max} = C_h = C_c = \underline{1045} W/°C$$

تعطي الفعالية $\in$ بالعلاقة،

$$\in = \frac{C_c\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)} = \frac{C_c\left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)}$$

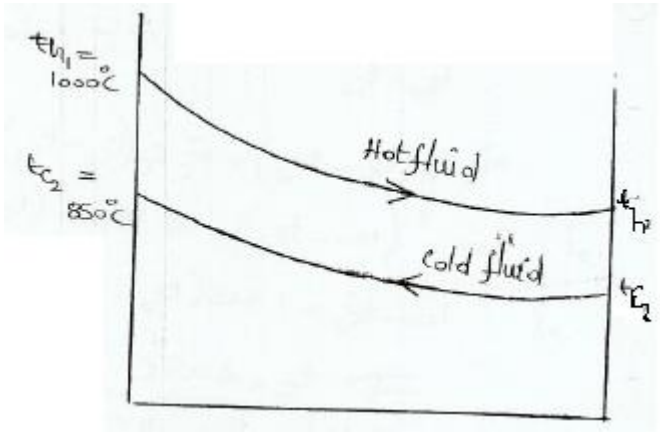
$$\left(i\,or \in = \frac{t_{h_1} - t_{h_2}}{t_{h_1} - t_{c_1}} = \frac{t_{c_2} - t_{c_1}}{t_{h_1} - t_{c_1}}\right)$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{88.5\times10^3}{1045} = \underline{0.85}$$

$$R = \frac{C_{min}}{C_{max}} = 1$$

عندما R = ،

$$\in = \frac{NTU}{1+NTU} = \frac{0.85}{1.85} = \underline{0.46}$$



بتعويض هذه القيمة في المعادلة (i) نحصل على

$$\text{or} \quad 0.46 = \frac{1000 - t_{h_2}}{1000 - t_{c_1}} = \frac{850 - t_{c_1}}{1000 - t_{c_1}}$$

$$0.46(1000 - t_{c_1}) = 850 - t_{c_1}$$

$$460 - 0.46t_{c_1} = 850 - t_{c_1}$$

$$0.54t_{c_1} = 390 \qquad \therefore t_{c_1} \approx \underline{\underline{722}}\,°C$$

$$\text{or} \quad 0.46 = \frac{1000 - t_{h_2}}{1000 - 722}$$

$$\text{or} \Rightarrow t_{h_2} = \underline{\underline{872}}\,°C$$

المسألة (20):-

ماء (c_p=4200J/kg°C) يدخل إلي مبادل حراري مزدوج الأنبوب متعاكس السريان عند 38°C بمعَّدل 0.075kg/s. يتم تسخين زيت (c_p=1880J/kg°C) يسري بمعَّدل 0.152kg/s من درجة حرارة مدخل مقدارها 116°C. لمساحة مقدارها $1m^2$ و $U=340W/m^{2°}C$، حدَّد معدَّل إنتقال الحرارة الكلي.

الحل:-

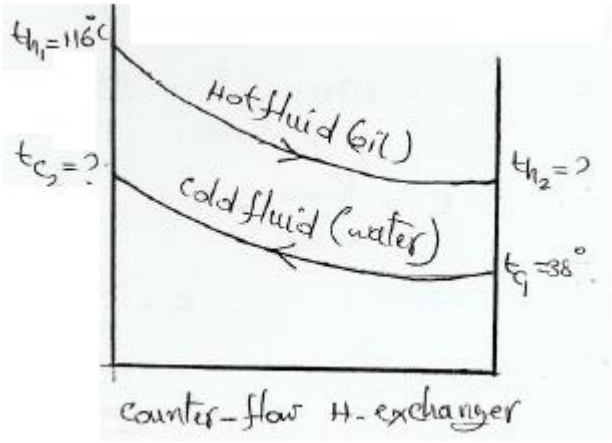
معطي: $\dot{m}_w = \dot{m}_c = 0.076kg/s$ ؛ $C_c = 4200J/kg°C$ ؛ $t_{c_1} = 38°C$ ؛

$A = 1m^2$؛ $t_{h_1} = 116°C$ ؛C_h=1880J/kg°C ؛ $\dot{m}_{oil} = \dot{m}_h = 0.152kg/s$

$U = 340 W/m^2°C$.

معدَّل إنتقال الحرارة الكلي، Q،

بما أن درجات حرارة مخرج كل من كلا المائعين غير معلومة بالتالي يجب إستخدام أسلوب عدد وحدات إنتقال الحرارة لحل هذه المسألة.



الفعالية $\in$ لمبادل حراري تُعطي بـ

$$\in = \frac{C_c\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)} = \frac{C_c\left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)} \qquad \text{(i)}$$

$$C_h = \dot{m}_h c_h = 0.152 \times 1880 = \underline{285.8}\ W/°C$$
$$C_c = \dot{m}_c c_c = 0.076 \times 4200 = \underline{319.2}\ W/°C$$

$$\frac{C_{min}}{C_{max}} = R = \frac{285.8}{319.2} = \underline{0.895}$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{340 \times 1}{285.8} = \underline{1.19}$$

لمبادل حراري متعاكس السريان،

$$\in = \frac{1 - e^{-NTU(1-R)}}{1 - Re^{-NTU(1-R)}} = \frac{1 - e^{-1.19(1-0.895)}}{1 - 0.895e^{-1.19(1-0.895)}} = \frac{0.117459}{0.210126} = \underline{0.86}$$

بتعويض القيَّم في المعادلة (i) نحصل على

$$0.56 = \frac{285.8(116 - t_{h_2})}{285.8(116-38)} = \frac{319.2(t_{c_2} - 38)}{285.8(116-38)}$$

أو $0.65 = \frac{116 - t_{h_2}}{116-38} = 1.117\left[\frac{t_{c_2} - 38}{116-38}\right]$

$$\therefore -t_{h_2} = (116-38)0.65 - 116 = -72.23$$

$$\therefore t_{h_2} = \underline{\underline{72.23}}°C \approx 75\ °C$$

و$t_{c_2} = \frac{0.56(116-38)}{1.117} + 38 = \underline{\underline{77.1}}°C \approx 75°C$

معدَّل إنتقال الحرارة الكلي يُعطي بـ

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln(\theta_1/\theta_2)} = \frac{(t_{h_1} - t_{c_2}) - (t_{h_2} - t_{c_1})}{\ln[(t_{h_1} - t_{c_2})/(t_{h_2} - t_{c_1})]}$$

$$= \frac{(116-75)-(75-38)}{\ln[(116-75)/(75-38)]} = \frac{41-37}{\ln[41/37]} \approx \underline{39}°C$$

$$Q = 340 \times 1 \times 39 = 13260W = \underline{\underline{13.26}}\ kW$$

المسألة (22):-

إرتفاع درجة الحرارة الكلي للمائع البارد في مبادل حراري متعاكس السريان هو $20°C$ وهبوط درجة الحرارة الكلي للمائع هو $30°C$. فاعلية المبادل الحراري هي 0.6. مساحة المبادل الحراري $1m^2$ ومعامل إنتقال الحرارة الإجمالي هو $60W/m^2°C$. أوجد معدَّل إنتقال الحرارة. إفترض أنَّ المائعان غير مختلطان.

الحل:-

معطي: $t_{c_1} = t_{c_1} = 20°C$ ؛ $t_{h_1} = t_{h_2} = 30°C$ ، $\in = 0.6$ ؛ $A = 1m^2$ ؛

$U = 60W/m^2°C$.

معدَّل إنتقال الحرارة، Q:-

الحرارة المكتسبة بواسطة المائع البارد = الحرارة المفقودة بواسطة المائع الساخن

$$\dot{m}_h c_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = \dot{m}_c c_c \left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$

$$\therefore \frac{\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)}{\left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)} = \frac{\dot{m}_c c_c}{\dot{m}_h c_h} = \frac{30}{20} = \underline{1.5}$$

$$\therefore \dot{m}_h c_h = C_{min},\ \dot{m}_c c_c = C_{max}$$

$$R = \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{1}{1.5} = \underline{0.67}$$

لمبادل حراري متعاكس السريان،

$$\in = \frac{1 - e^{-NTU(1-R)}}{1 - Re^{-NTU(1-R)}}$$

$$0.6 = \frac{1 - e^{-NTU(1-0.67)}}{1 - 0.67e^{-NTU(1-0.67)}} = \frac{1 - e^{-NTU(0.337)}}{1 - 0.67e^{-NTU(0.33)}}$$

$$0.6 - 0.402e^{-0.33NTU} = 1 - e^{-0.33NTU}$$

$$-0.4 = -0.598e^{-0.33NTU}$$

$$0.4 = 0.598e^{-0.33NTU}$$

$$e^{-0.33NTU} = \frac{0.4}{0.598} = 0.6689$$

$$-0.33NTU \ln e^{-1} = \ln 0.6689$$

$$NTU = \frac{\ln 0.6689}{-0.33} \approx \underline{1.22}$$

لكن $NTU = \dfrac{UA}{C_{min}}$

$$\therefore C_{min} = \frac{UA}{NTU} = \frac{60 \times 1}{1.22} = \underline{49.18} = C_h;$$

$$C_{max} = \frac{C_{man}}{0.67} = \frac{49.18}{0.67} = \underline{73.4} = C_c;$$

$$Q = \dot{m}_h c_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = C_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)$$
$$= 49.18 \times (30) = \underline{\underline{1475.4}}\,W$$

المسألة (23):-

عرَّف المصطلحات الآتية:- عدد وحدات إنتقال الحرارة والفاعلية.

إشتق تعبيراً لفاعلية مبادل حراري متعاكس السريان بدلالات NTU ونسبة السعة R .

المسألة (24):-

مائعان A و B يتبادلان حرارة في مبادل حراري متعاكس السريان. يدخل المائع A عند $420°C$ وله معدَّل سريان كتلة مقداره $1kg/s$. يدخل المائع B عند $20°C$ وله معدَّل سريان كتلة مقداره $1kg/s$. فاعلية المبادل الحراري هي 75%. حدَّد:-

i/ معدَّل إنتقال الحرارة.

ii/ درجة حرارة مخرج المائع B.

الحرارة النوعية للمائع A هي $1kj/kgK$ وتلك للمائع B هي $4kj/kgK$.

الحل:-

معطي: $\dot{m}_h = 1kg/s \;؛\; t_{h_1} = 420°C$

$\dot{m}_c = 1kg/s \;؛\; t_{c_1} = t_{c_2} = 20°C$

$C_c = 4kj/kgK \;؛\; C_h = 1kj/kgK \;؛\; \in = 0.75$

i/ معدَّل إنتقال الحرارة، Q:-

الفاعلية ، $\in = \dfrac{C_c\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)} = \dfrac{t_{h_1} - t_{h_2}}{t_{h_1} - t_{c_1}} \left(\because C_h = \dot{m}c_h = 1 \times 1 = 1 = C_{min}\right)$

أو $0.75 = \dfrac{420 - t_{h_2}}{420 - 20}$

أو $\Rightarrow t_{h_2} = \underline{120}°C$

$$\epsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}}; \quad Q_{act} = \epsilon Q_{max} = \epsilon C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)$$

$$= 0.75 \times \dot{m}_h c_h \left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)$$
$$= 0.75 \times 1 \times 1 \times (420 - 20)$$
$$= \underline{\underline{300}}\ kJ$$

ii/ درجة حرارة مخرج المائع B، t_{c_2} :-

$$Q = \dot{m}_c c_c \left(t_{c_2} - t_{c_2}\right)$$

أو $300 = 1 \times 4\left(t_{c_2} - 20\right)$

أو $\Rightarrow t_{c_2} = \underline{\underline{95}}°C$

المسألة (25):-

ماء بمعدَّل 0.5kg/s يتم دفعه قسرياً خلال أنبوب ناعم بقطر داخلي 25mm وبطول 15m. درجة حرارة مدخل الماء 10°C ويكون جدار الأنبوب عند درجة حرارة ثابتة مقدارها 40°C. ما هي درجة حرارة مخرج الماء؟

القيَّم المتوسطة لخواص الماء هي:-

$$c_p = 4180 J/kg°C \text{ ؛ } \mu = 0.8 \times 10^{-3} \text{ ؛ } k = 0.57 W/m°C .$$

الحل:-

معطي: $\dot{m}_w = 0.5kg/s$ ؛d=25mm=0.0.25m ؛L=15m

$k = 0.57 W/m°C$ ؛ $\mu = 0.8\times10^{-3}$ ؛ $c_p = 4180 J/kg°C$.

درجة حرارة مخرج الماء، t_o:-

نعلم أنَّ $\dot{m} = \rho Q$

أو $\dot{m} = \rho A v$

$$\therefore v = \frac{\dot{m}}{\rho A} = \frac{0.5}{10^3 \times \frac{\pi}{4}(0.025)^2} = \underline{1.068} m/s$$

$$\text{رقم رينولد، } Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{10^3 \times 1.036 \times 0.025}{0.8\times10^{-3}} = \underline{3.183\times10^4}$$

i.e.، يكون السريان مضطرباً بما أنَّ (Re > 2300).

بإستخدام العلاقة،

$$Nu = 0.023(Re)^{0.8}(Pr)^{1/3}$$

for $(t_s > t_f)$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k} = \frac{0.8\times10^{-3}\times4180}{0.57} = \underline{5.867}$$

بتعويض القيَّم في المعادلة عاليه، نحصل على

$$Nu = \frac{hd}{k} = 0.023(31.183\times10^{-4})^{0.8}\times(5.867)^{1/3} = \underline{165.9} \approx 166$$

أو $h = \frac{Nu.k}{d} = \frac{165.9\times0.57}{0.025} = \underline{3785} W/m^2°C$

$$\text{مساحة إنتقال الحرارة، } A = \pi dL = \pi\times0.025\times15 = \underline{1.1781} m^2$$

بما أنَّ درجة حرارة السطح ثابتة،

$$C_{min} = C_{water} = \dot{m}_w C_w = 0.5\times4180 = \underline{2090} W/°C$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{dA}{C_{min}} = \frac{3785 \times 1.1781}{2090} = \underline{2.133}$$

الفاعلية ، $\in = 1 - e^{-NTU(1-R)}$

$$= 1 - e^{--2.133(1-R)} = \underline{0.8815}$$

الآن ، $\in = \left[\frac{t_o - t_i}{t_s - t_i}\right] = \frac{t_o - 10}{40 - 10}, \therefore \Rightarrow t_o = \underline{\underline{36.44}}°C$

المسألة (26):-

مبادل حراري متعاكس السريان يقوم بتسخين هواء يدخل عند 400°C بمعدَّل سريان 6kg/s عن طريق غاز عادم يدخل عند 800°C بمعدَّل سريان 4kg/s. معامل إنتقال الحرارة الإجمالي هو $100W/m^2K$ ودرجة حرارة مخرج الهواء هي 551.5°C. الحرارة النوعية عند ضغط ثابت لكل من الهواء وغاز العادم يمكن أخذها كـ 1100J/kgK. أحسب:

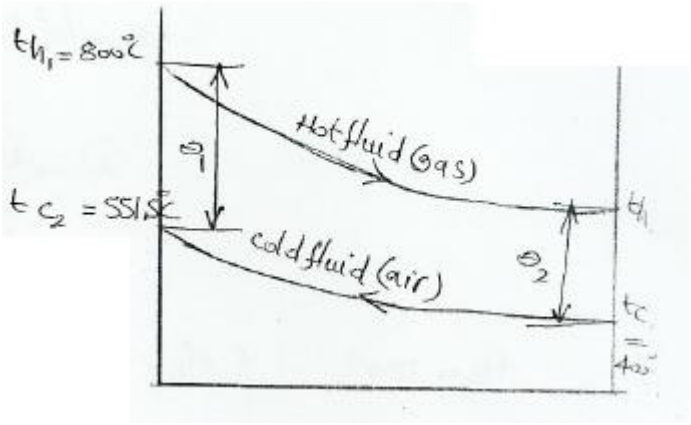
i/ مساحة إنتقال الحرارة المطلوبة.

ii/ عدد وحدات إنتقال الحرارة.

الحل:-

معطي:- $\dot{m}_c = 6kg/s$ ؛ $t_{c_1} = 551.5°C$ ؛ $t_{c_2} = 800°C$ ؛ $\dot{m}_h = 4kg/s$ ؛

$U = 100W/m^2K$ ؛ $C_c = 1100J/kgK$.



الآن،

$$C_c = \dot{m}_c c_c = 6 \times 1100 = 6600$$
$$C_h = \dot{m}_h c_h = 4 \times 1100 = 4400$$

عليه، بما أنَّ $C_h < C_c$

$$\therefore C_{min} = C_h = 4400$$

الآن، الحرارة المنتقلة إلي الماء البارد = الحرارة المنتقلة من الغازات الساخنة

$$\therefore Q = \dot{m}_c c_c \left(t_{c_2} - t_{c_1}\right) = \dot{m}_h c_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)$$
$$= 6600(551.5 - 400) = 4400(800 - t_{h_2})$$
$$\Rightarrow Q = 999{,}900\text{J} \quad \text{و} \quad t_{h_2} = \underline{57275}^{\circ}\text{C}$$

i/ مساحة الحرارة المطلوبة، A:-

$$Q = UA\theta_m$$

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln\left(\frac{\theta_1}{\theta_2}\right)} = \frac{\left(t_{h_1} - t_{c_2}\right) - \left(t_{h_2} - t_{c_1}\right)}{\ln\left\{\frac{\left(t_{h_1} - t_{c_2}\right)}{\left(t_{h_2} - t_{c_1}\right)}\right\}} =$$
$$= \frac{(800 - 551.5) - (572.75 - 400)}{\ln\left[\frac{800 - 551.5}{572.75 - 400}\right]} = \frac{75.75}{10.3636} = \underline{208.33}^{\circ}\text{C}$$

بتعويض القيم المختلفة نحصل على،

$$999900 = 100 \times A \times 208.33$$
$$\therefore \Rightarrow A = \underline{\underline{48}}\, m^2$$

ii/ عدد وحدات إنتقال الحرارة، (NTU):-

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{100 \times 48}{4400} = \underline{\underline{1.09}}$$

المسألة (27):-

مادة كيميائية بحرارة نوعية مقدارها 3.3kj/kgK تسري بمعدَّل 20,000kg/s لتدخل مبادل حراري متوازي السريان عند 120°C. معدَّل سريان كتلة ماء التبريد هو 50,000kg/s بدرجة حرارة 20°C. مساحة إنتقال الحرارة هي $10m^2$ ومعامل إنتقال الحرارة الإجمالي هو $1050W/m^2K$.

أوجد:-

i/ فاعلية المبادل الحراري.

ii/ درجة حرارة مخرج الماء والمادة الكيميائية.

الحل:-

معطي:- $C_h = 3.3kj/kgK$ ؛ $\dot{m}_h = \frac{20,000}{3600} = 5.56kg/s$ ؛ $t_{h_1} = 120°C$

؛ $A=10^2$ ؛ $t_{c_1} = 20°C$ ؛ $C_c = 4.18kj/kgK$ ؛ $\dot{m}_c = \frac{50,000}{3600} = 13.89kg/s$

$U = 1050W/m^2K$.

i/ فاعلية المبادل الحراري، $\in$:-

$C_h = \dot{m}_h c_h = 5.56 \times 3.3 = \underline{18.36}$، السعة الحرارية للمائع الساخن.

$C_c = \dot{m}_c c_c = 13.89 \times 4.186 = \underline{58.14}$، السعة الحرارية للمائع البارد.

عليه فإنَّ $C_h < C_c$

الحرارة المكتسبة بواسطة المائع البارد = الحرارة المفقودة بواسطة المائع الساخن

$$\left(120 - t_{h_2}\right) = 3.17\left(t_{c_2} - 20\right) \qquad \text{(i)}$$ أو

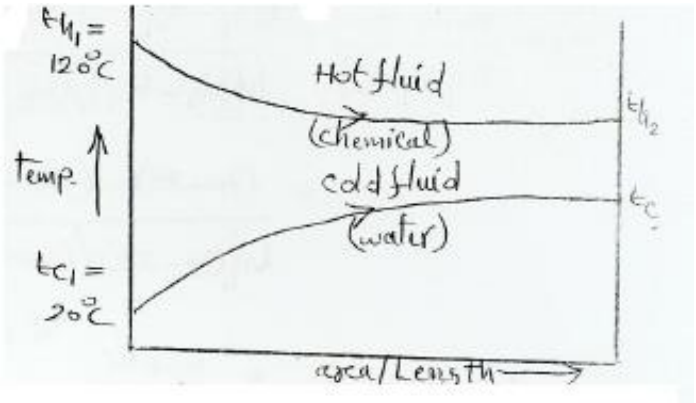
$$\text{NTU} = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{1050 \times 10}{18.36 \times 10^3} = \underline{0.572}$$ الآن

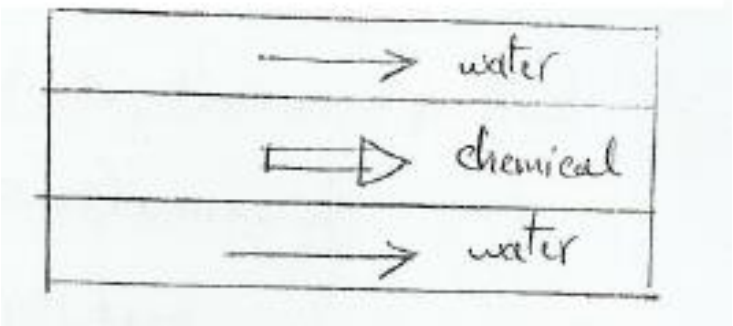
$$\in = \frac{1 - e^{-NTU(1+R)}}{1+R}$$ ، الفاعلية

$$R = \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{18.36}{58.14} = \underline{0.316}$$، نسبة السعة الحرارية

$$\in = \frac{1 - e^{-0.572(1+0.316)}}{1+0.316} = \frac{1-0.471}{1.316} = \underline{\underline{0.402}}$$

ii/ درجات حرارة مخرج الماء (t_{c2}) ومخرج المادة الكيميائية (t_{h2})





$$\epsilon = \frac{C_h\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)} \quad \text{، أيضاً}$$

$$0.402 = \frac{120 - t_{h_2}}{120 - 20} \quad \text{أو}$$

$$t_{h_2} = \underline{\underline{79.8}}\,°C \quad \text{أو}$$

بتعويض قيمة $t_{h_2} = 79.8°C$ في المعادلة (i) ، نحصل على

$$(120 - 79.8) = 3.17\left(t_{c_2} - 20\right)$$

$$\therefore t_{c_2} = \underline{\underline{32.7}}°C$$

المسألة (28):-

مبادل حراري متوازي السريان بسريانات ساخنة وباردة تجرى خلاله حسب البيانات التالية:-

$\dot{m}_h = 10kg/s$ ؛ $\dot{m}_c = 25kg/s$ ؛ $C_h = C_c = 4.18kj/kgK$ ؛ $t_{h_1} = 70°C$ ؛

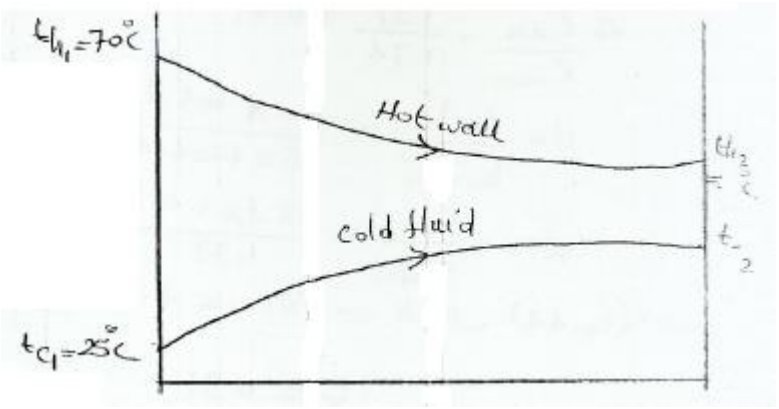
$t_{h_2} = 50°C$ ؛ $t_{c_1} = 25°C$.

معامل إنتقال الحرارة الفردي على كلا الجانبين = $60W/m^2°C$. أحسب الآتي:-

i/ مساحة المبادل الحراري؛

ii/ درجات حرارة مخرج الموائع الساخنة والباردة إذا تمَّ مضاعفة معدَّل سريان كتلة الماء الساخن.

الحل:-



i/ مساحة المبادل الحراري، A:-

الحرارة المفقودة بواسطة المائع الساخن = الحرارة المكتسبة بواسطة المائع البارد

$$\therefore \dot{m}_h c_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = \dot{m}_c c_c \left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$

$$10 \times 4.18(70-50) = 25 \times 4.18\left(t_{c_2} - 25\right)$$

$$\Rightarrow \quad t_{c_2} = \underline{33}\,^{\circ}\mathrm{C} \quad \text{إو}$$

متوسط فرق درجة الحرارة اللوغريثمي،

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln(\theta_1/\theta_2)} = \frac{\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right) - \left(t_{h_2} - t_{c_2}\right)}{\ln\left[\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)/\left(t_{h_2} - t_{c_2}\right)\right]}$$

$$= \frac{(70-25)-(50-33)}{\ln[(70-25)/(50-33)]} = \frac{45-17}{\ln[(45/33)]} = \underline{28.8}\,^{\circ}\mathrm{C}$$

معامل إنتقال الحراري الإجمالي يُعطي بـ،

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} = \frac{h_o + h_i}{h_o h_i}$$

$$\text{أو} \qquad U = \frac{h_o h_i}{h_o + h_i} = \frac{60 \times 60}{60+60} = \underline{30}\,\mathrm{W/m^2\,^{\circ}C} \text{،}$$

$$Q = \dot{m}_h c_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = UA\theta_m$$

$$\text{أو} \qquad \frac{10}{60} \times 4.18 \times (70-50) = 30 \times A \times 28.8$$

$$\therefore A = \frac{10 \times 4.18 \times (70-50)}{60 \times 30 \times 28.8} = \underline{\underline{0.0161}} m^2$$

ii/ درجات حرارة الموائع الساخنة والباردة t_{h_2} و t_{c_2} :-

عندما يتم زيادة $\dot{m}_h$ من 10kg/min إلي 20kg/min h_i ستصبح h_i' (باعتبار أنَّ المائع الساخن بالداخل).

$$\frac{h'_i}{h_i} = \left(\frac{20}{10}\right)^{0.8} = 1.74$$

$$\therefore h'_i = 60 \times 1.74 = \underline{104.4}\, W/m^2 °C$$

$$C_h = \dot{m}_h c_h = \frac{20}{60} \times 4.18 = \underline{1.39} = C_{min}$$

$$C_c = \dot{m}_c c_c = \frac{25}{60} \times 4.18 = \underline{1.74} = C_{max}$$

$$\frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{1.39}{1.74} = 0.799$$

$$U = \frac{h_o h'_i}{h_o + h'_i} = \frac{60 \times 104.4}{60 + 104.4} = \underline{38.1}\, W/m^2 °C$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{38.1 \times 0.0161}{1.39} = \underline{0.44}$$

القيمة المحسوبة من $\frac{C_{min}}{C_{max}} = 0.799$ و NTU=44، من الشكل (10.44)، نحصل على

$$\in \approx 0.3$$

أيضاً , $\in = \frac{C_h(t_{h_1} - t_{h_2})}{C_{min}(t_{h_1} - t_{c_1})} = \frac{C_c(t_{c_2} - t_{c_1})}{C_{min}(t_{h_1} - t_{c_1})}$

او $0.31 = \frac{1.39(70 - t_{h_2})}{1.39(t_{h_1} - t_{c_1})} = \frac{1.74(t_{c_2} - 25)}{1.39(70-25)}$

$$\text{أو} \quad 0.31 = \frac{70 - t_{h_2}}{t_{h_1} - t_{c_1}} = 1.25\left[\frac{t_{c_2} - 25}{70 - 25}\right]$$

$$\therefore t_{h_2} = 70 - 0.31(70 - 25) = \underline{\underline{56.05}}\,°C$$

$$\text{و} \quad t_{c_2} = \frac{0.31(70 - 25)}{1.25} + 25 = \underline{\underline{36.16}}\,°C$$

المسألة (29):-

زيت يتم تبريده إلي 375K في مبادل حراري متلاقي (concurrent heat ex.) ينقل حرارته إلي ماء التبريد الذي يغادر المبرَّد عند 300K. على أيَّ حال، من المطلوب تبريد الزيت إلي 350K بزيادة طول المبرَّد بينما تظل معدلات سريان الزيت والماء، درجات الحرارة عند المدخل والأبعاد الأخرى للمبرَّد ثابتة. درجات حرارة مدخل ماء التبريد والزيت هما 288K و 425K. إذا كان طول المبرَّد الأصلي هو 1m، أحسب الآتي:-

i/ درجة حرارة مخرج ماء التبريد للمبرَّد الجديد.

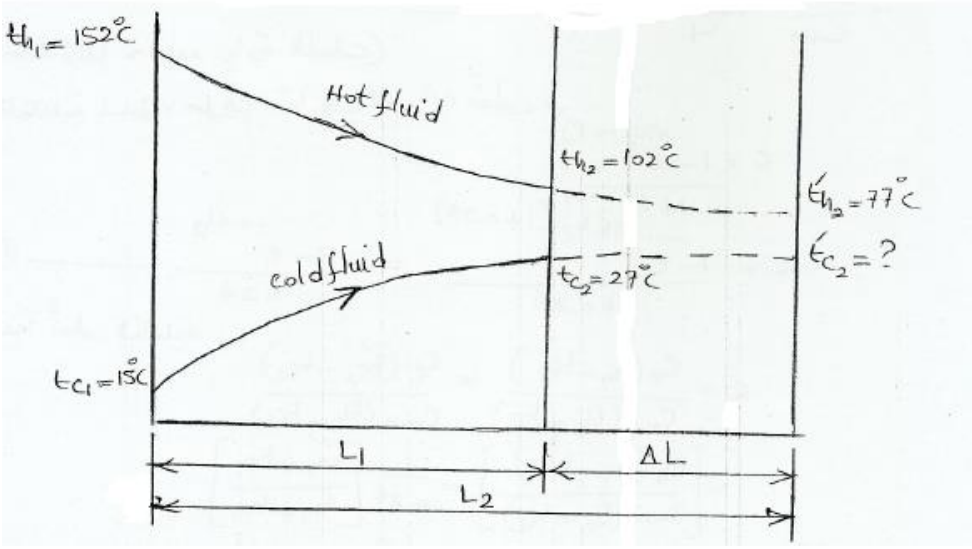
ii/ طول المبرد الجديد.

الحل:-

معطي: $t_{h_1} = 225 - 273 = 152°C$ ؛ $t_{h_2} = 375 - 273 = 102°C$ ؛ $L_1 = 1\ m^2$

الحالة (I) Case I $\leftarrow$ $t_{c_2} = 300 - 273 = 27°C$ ؛ $t_{c_1} = 288 - 273 = 15°C$؛

الحالة (II) case (II) $\leftarrow t_{c_2} = ?$ ؛ $t'_{h_2} = 350 - 273 = 77°C$.



i/ درجة حرارة مخرج ماء التبريد للمبرِّد الجديد، t'_{c_2} :-

الحالة (I):- (قبل زيادة الطول)

$$\dot{m}_h c_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = \dot{m}_c c_c \left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$

$$\therefore \frac{\dot{m}_h c_h}{\dot{m}_c c_c} = \frac{C_h}{C_c} = \frac{t_{c_2} - t_{c_1}}{t_{h_1} - t_{h_2}} = \frac{27-15}{152-102} = \underline{0.24}$$

$$\therefore C_{min} = \dot{m}_h C_h \qquad \text{and} \quad \frac{C_{min}}{C_{max}} = R = \underline{24}$$

معدَّل إنتقال الحرارة يُعطي بـ

$$\dot{m}_h c_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = UA_1 \left[\frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln(\theta_1/\theta_2)}\right]$$

$$\therefore t_{h_1} - t_{h_2} = \frac{UA_1}{C_{min}} \left[\frac{(152-15)-(102-27)}{\ln[(152-15)/(102-27)]}\right]$$

أو $\therefore (152-102) = (NTU)_1 \left[\frac{137-57}{\ln(137/75)}\right] = (NTU)_1 \times 102.9$

$$\text{or} \quad (NTU)_1 = \frac{(132-102)}{102.9} = \underline{0.486}$$

$$(NTU)_1 = \frac{UA_1}{C_{min}} = \frac{U\pi dL_1}{C_{min}}$$

$$(NTU)_1 = \frac{U\pi dL_1}{C_{min}}$$

$$\therefore \frac{U\pi d}{C_{min}} = \frac{(NTU)_1}{L_1} = \frac{0.486}{1} = \underline{0.486}$$

الحالة (II):- (بعد زيادة الطول)

الفاعلية لمبادل حراري متوازي السريان تُعطي بـ

$$\in = \frac{1 - e^{-NTU_2(1+R)}}{1+R}$$

$$\in = \frac{1 - e^{-0.486L_2(1+0.24)}}{1+0.24} = \frac{1 - e^{-0.6L_2}}{1.24} \qquad \text{(i)}$$

أيضاً تُعطي الفاعلية بـ

$$\in = \frac{C_h(t_{h_1} - t'_{h_2})}{C_{min}(t_{h_1} - t_{c_1})} = \frac{C_c(t'_{c_2} - t_{c_1})}{C_{min}(t_{h_1} - t_{c_1})}$$

$$= \left[\frac{C_h(t_{h_1} - t'_{h_2})}{C_{min}(t_{h_1} - t_{c_1})}\right] = \frac{1}{1.24}\left[\frac{t'_{c_2} - t_{c_1}}{t_{h_1} - t_{c_1}}\right]$$

$$\left[\because C_h = C_{min}; C_c = C_{max}, \text{ and } R = \frac{C_{min}}{C_{max}} = 0.24\right]$$

أو $\in = \frac{152-77}{152-15} = \frac{1}{1.24}\left[\frac{t'_{c_2} - 15}{152-15}\right]$

أو $t'_{c_2} = \left[\frac{152-77}{152-15}\right] \times 0.24(152-15) + 15 = \underline{\underline{33}}°C$

ii/ طول المبرد الجديد، L_1:-

بمساواة المعادلتين (i) و (ii)، نحصل على

$$\text{أو} \quad e^{-0.6L_2} = 1 - 1.24\left[\frac{152-77}{152-15}\right] = \underline{0.321}$$

$$\text{أو} \quad e^{0.6L_2} = \frac{1}{0.321} = \underline{3.11}$$

$$\text{أو} \quad 0.6L_2 \ln e^{-1} = \ln .011 = 1.134$$

$$\text{أو} \quad L_2 = \frac{1.134}{0.6} = \underline{\underline{1.98}}\,\text{m}$$

هذا يشير لزيادة طول المبرِّد مقدارها 89%.

المسألة (30):-

في مبادل حراري بسيط متعاكس السريان يشتغل تحت الظروف التالية:-

مائع A، درجات حرارة المدخل والمخرج $80°C$ و $40°C$؛

مائع B، درجات حرارة المدخل والمخرج $20°C$ و $40°C$؛

يتم نظافة المبرد مما يتسبب في زيادة معامل إنتقال الحرارة الإجمالي بمقدار 10%وتتغير درجة حرارة المدخل للمائع إلي $30°C$. ما هي درجات حرارة المخرج الجديدة للمائع A B.

إفترض أنَّ معاملات إنتقال الحرارة والسعات الحرارية لا تتغير بتغير درجة الحرارة.

الحل:-

معطي: $t_{h_1} = 80°C$ ؛ $t_{h_2} = 40°C$ ؛ $t_{c_1} = 20°C$ ؛ $t_{c_2} = 40°C \leftarrow$ الحالة (I)

$t_{h_1} = 80°C$ ؛ $t_{h_2} = ?$ ؛ $t_{c_1} = 30°C$ ؛ $t_{c_2} = ? \quad \leftarrow$ الحالة (II)

$U_1 = 1.1U_2$.

بما أنَّ درجات كلا المائعين يتم حسابهما، بالتالي يجب إستخدام أسلوب عدد وحدات إنتقال الحرارة لإيجاد t_{h_2} و t_{c_2} لشروط المدخل الجديدة للمائع البارد يعد تنظيف المبادل.

إضافياً فإنَّ مساحة إنتقال الحرارة ومعدلات سريان الكتلة في كلا الحالتين يظلا ثابتين.

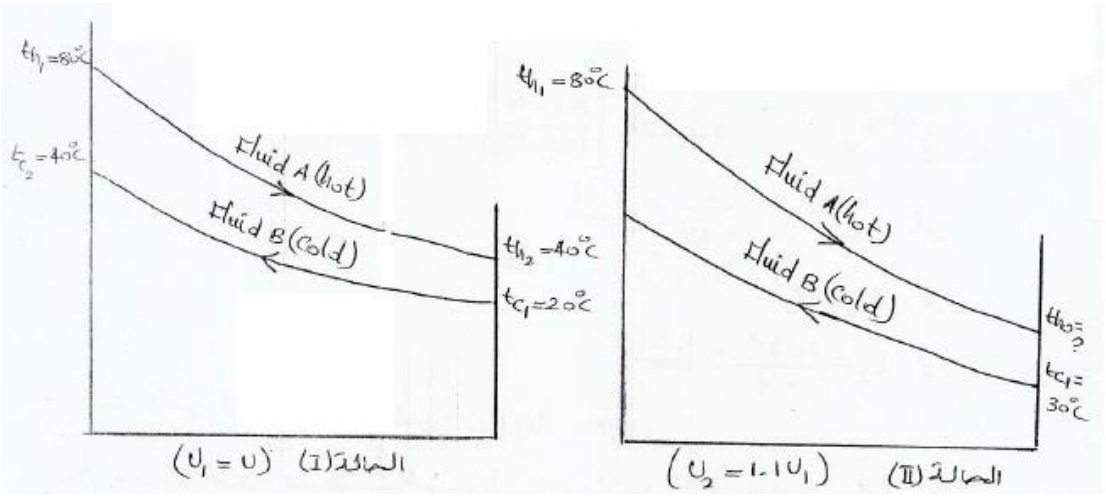
الحالة (I):

$$\dot{m}_h c_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = \dot{m}_c c_c \left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$

$$\therefore \frac{\dot{m}_h c_h}{\dot{m}_c c_c} = \frac{\left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)}{\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)} = \frac{40-20}{80-40} = 0.5 \quad = R\left(\text{cons tan t}\right)$$

$$\text{where} \quad R = \text{capacity ratio} = \frac{C_{min}}{C_{max}}$$

من الواضح أن $\dot{m}_h c_h = C_h = C_{min}$



يمكن أيضاً أنَّ نكتب،

$$Q_1 = \dot{m}_h c_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = U_1 A \left[\frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln(\theta_1/\theta_2)}\right]$$

$$\therefore t_{h_1} - t_{h_2} = \frac{UA_1}{\dot{m}_h c_h}\left[\frac{(80-40)-(40-20)}{\ln[(80-40)/(40-20)]}\right]$$

$$= \left(NTU\right)_1 \times 28.85$$

$$\therefore (80-40) = \left(NTU\right)_1 \times 28.85$$

أو $\left(NTU\right)_1 = 1.386$

الحالة (II):-

$$(NTU)_2 = \frac{U_2 A}{C_{min}} = \frac{1.1U_1 A}{C_{min}} = 1.1(NTU)_1 = 1.1 \times 1.386 = 1.52$$

بما أنَّ $U_2=1.1\ U_1$ و A و C_{min} كلا المتغيران يبقيا ثابتين في كلا الحالتين.

فاعلية المبادل الحراري المتعاكس السريان للحالة II تُعطي بـ

$$\in = \frac{1-e^{-NTU(1-R)}}{1-Re^{-NTU(1-R)}}$$ حيث $R = 0.5$،

$$= \frac{1-e^{-1.52(1-0.5)}}{1-0.5e^{-1.25(1-0.5)}} = \frac{1-e^{-0.76}}{1-0.5e^{-0.76}} = \underline{0.695}$$

أيضاً تُعطي الفاعلية بـ

$$\in = \frac{C_h(t_{h_1} - t_{h_2})}{C_{min}(t_{h_1} - t_{c_1})} = \frac{C_c(t_{c_2} - t_{c_1})}{C_{min}(t_{h_1} - t_{c_1})}$$

$$\therefore \in = \frac{C_h(t_{h_1} - t_{h_2})}{C_{min}(t_{h_1} - t_{c_1})} = \frac{C_{min}(t_{h_1} - t_{h_2})}{C_{min}(t_{h_1} - t_{c_2})} = \frac{t_{h_1} - t_{h_2}}{t_{h_1} - t_{c_1}} \quad (\because C_h = C_{min})$$

أو $0.696 = \frac{80 - t_{h_2}}{80 - 30}$

أو $t_{h_2} = 80 - 0.696(80-30) = \underline{\underline{45.2}}\,°C$

مرة ثانية،

$$\in = \frac{C_c(t_{c_2} - t_{c_1})}{C_{min}(t_{h_1} - t_{c_1})} = \frac{C_{max}}{C_{min}}\left[\frac{t_{c_2} - t_{c_1}}{t_{h_1} - t_{c_1}}\right] = 2\left[\frac{t_{c_2} - t_{c_1}}{t_{h_1} - t_{c_1}}\right]$$

أو $0.696 = 2\left[\frac{t_{c_2} - 30}{80 - 30}\right]$ $\left[\because \frac{C_{min}}{C_{max}} = R = 0.5\right]$

أو $t_{c_2} = 30 + \frac{0.696}{2}(80-30) = \underline{\underline{47.4}}\,°C$

المسألة (31):-

فـي محطـة قـدرة بخاريـة ضـخمة، يـتم إسـتخدام مكثِّف بخـار مـن نـوع الغـــلاف والأنبـوب (shell and tube H. exchanger) بالبيانات التالية:-

معدَّل إنتقال الحرارة 2100MW

عدد وحدات ممرات الغلاف واحد

عدد الأنابيب (رفيعة الجدار) 31500 كل منها تمتلك ممران.

قطر كل أنبوب 25mm

معدَّل سريان كتلة الماء خلال الأنابيب 3.4×10^4 kg/s

درجة حرارة تكثُّف البخار 50°C

(يتكثَّف البخار على السطح الخارجي للأنابيب)

معامل إنتقال الحرارة على جانب البخار $11400 W/m^{2}°C$

درجة حرارة مدخل الماء 50°C

استخدم أسلوب عامل تصحيح متوسط درجة الحرارة اللوغاريثمي وعدد وحدات إنتقال الحرارة، أحسب:-

i/ درجة حرارة مخرج ماء التبريد، و

ii/ طول الأنبوب لكل ممر.

خذ الخواص التالية للماء عند ($t_b = 27°C$ عند)

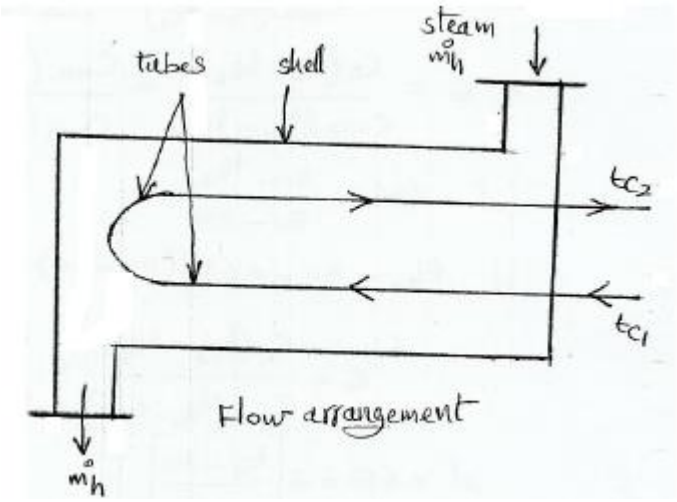
$Pr=5.83$ ؛ $k = 0.631 W/°C$ ؛ $\mu = 855 \times 10^{-6} Ns/m^2$ ؛ $c_p = 4.18 kj/kg°C$

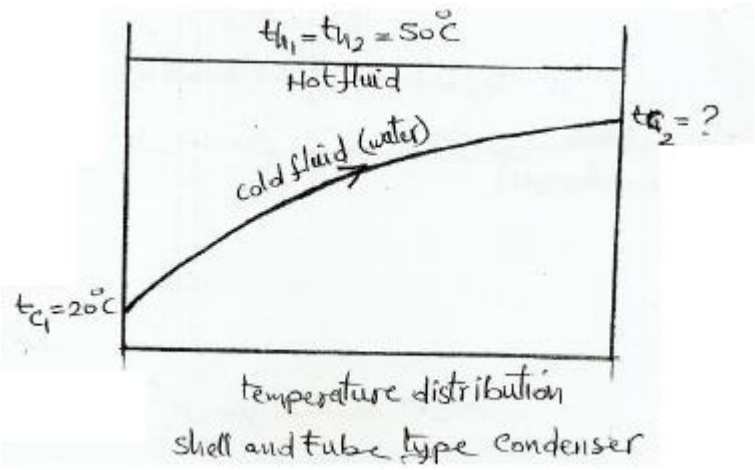
يمكن تجاهل كل من المقاومة الحرارية لمادة الأنبوب وتأثيرات الإتساخ.

الحل:-

معطي:- $Q = 2300\times10^{6}\,W$ ؛ $n_p=31500$ ؛$d=25mm=0.025mm$ ؛ $t_{c_1} = 20°C$

$h_o = 11400 W/m^2°C$ ؛ $t_{h_1} = t_{h_2} = 50°C$ ؛ $\dot{m}_w = \dot{m}_c = 3.4\times10^{4}\,kg/s$.





i/ درجة حرارة مخرج الماء، t_{c_2} :-

$$Q = \dot{m}_c c_c \left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$
$$2100\times10^{6} = 3.4\times10^{4}\left(4.18\times10^{3}\right)\left(t_{c_1} - 20\right)$$
$$\therefore \Rightarrow t_{c_1} = \underline{\underline{34.77}}\,°C$$

ii/ طول الأنبوب لكل ممر، L:-

(1) أسلوب عامل تصحيح متوسط فرق درجة الحرارة اللوغاريثمي (LTU correction factor method)

معدَّل إنتقال الحرارة الكلي يُعطي بـ

$$Q = FUA\theta_m \qquad \text{(i)}$$

حيث F = معامل إنتقال الحرارة الإجمالي.

$$2n_p\pi dL = A$$

θ_m = متوسط فرق درجة الحرارة اللوغاريثمي.

لإيجاد F يجب إيجاد p (نسبة درجة الحرارة) و R (نسبة السعة الحرارية)،

$$P = \frac{t_{c_2} - t_{c_1}}{t_{h_2} - t_{c_1}} = \frac{34.77 - 20}{50 - 20} = \underline{0.492}$$

$$R = \frac{t_{h_1} - t_{h_2}}{t_{c_2} - t_{c_1}} = \frac{50 - 50}{37.44 - 20} = \underline{0}$$

بتقييم P = 0.492 و R = 0، نحصل على F = 1

لإيجاد قيمة U، يجب إيجاد قيمة h_i أولاً

$$\dot{m} = \frac{3.4\times10^4}{31500} = \underline{1.097}\,kg/s$$

$$\text{رقم رينولد}, \quad Re = \frac{\rho vd}{\mu} = \frac{4\dot{m}}{\pi d\mu} = \frac{4\times1.079}{\pi\times0.025\times855\times10^{-6}} = \underline{6.43\times10^4}$$

بما أنَّ Re > 2300، بالتالي يكون السريان مضطرباً

$$\therefore Nu = \frac{hd}{k} = 0.023(Re)^{0.8}(Pr)^{0.4} = 0.023\left(6.43\times10^4\right)^{0.8}(5.83)^{0.4} = 327$$

$$\text{or} \quad h = \frac{Nuk}{d} = \frac{327\times0.613}{0.025} = \underline{8018}\,W/m^2{}^\circ C$$

{بتجاهل المقاومة الحرارية لمادة الأنبوب وتأثير الإتساخ) $\frac{1}{U}=\frac{1}{h_o}+\frac{1}{h_i}$, الآن

إضافياً، يُعطي LMTD بـ

$$\theta_m=\frac{\theta_1-\theta_2}{\ln(\theta_1/\theta_2)}=\frac{(t_{h_1}-t_{c_1})-(t_{h_2}-t_{c_2})}{\ln[(t_{h_1}-t_{c_1})/(t_{h_2}-t_{c_2})]}=\frac{(50-25)0-(50-34.77)}{\ln[(50-20)/(50-34.77)]}$$

$$=\frac{30-15.23}{\ln[(30/15.23)]}\approx \underline{21.8}\,^{\circ}C$$

بتعويض القيَّم في المعادلة (i)، نحصل على

$$Q=FU(2n_p\pi dL)\theta_m$$

$$2100\times10^6=1\times4707.2[2\times31500\times\pi\times0.025\times L]\times21.8$$

$$\therefore\Rightarrow L=\underline{\underline{4.136}}\,m$$

(2) أسلوب عدد وحدات إنتقال الحرارة:- (NTU method)

بما أنَّ المبادل الحراري هو مكثِّف، بالتالي $C_h = C_{max} = \infty$

$$C_{min}=C_c=\dot{m}_c c_c=3.4\times10^4\times(4.18\times10^3)=\underline{14212\times10^4}$$ و

بما أنَّ $C_h > C_c$، بالتالي

$$\in=\frac{t_{c_2}-t_{c_1}}{t_{h_1}-t_{c_1}}=\frac{34.77-20}{50-20}=\underline{0.492}$$

$$\frac{C_{min}}{C_{max}}=0$$

$$\therefore \in=1-e^{-NTU}$$

أو $0.492=1-e^{-NTU}$

أو $e^{-NTU}=1-0.492=0.508$

أو $-\text{NTU}\ln e^{-1} = \ln 508 = -0.677$

أو $\text{NTU} = 0.677$

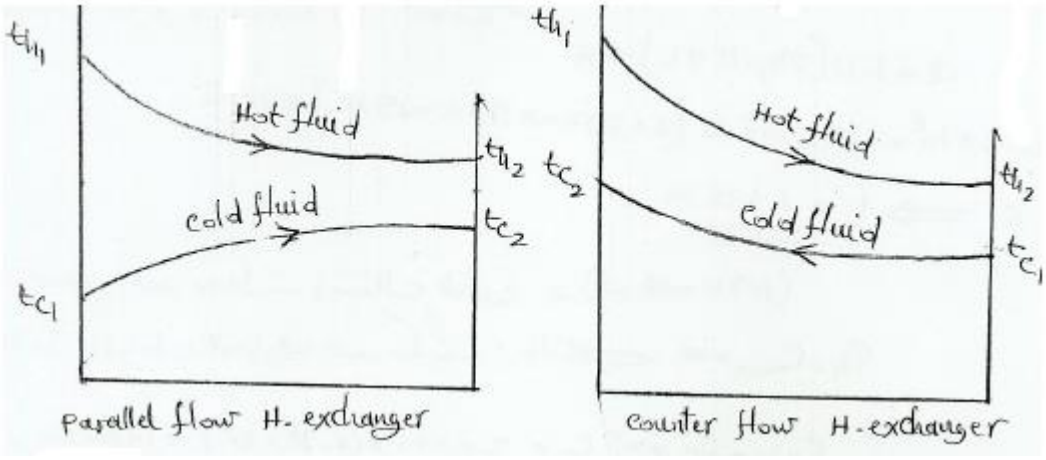
لكن $\text{NTU} = \dfrac{UA}{C_{min}} = \dfrac{U(2n_p\pi dL)}{C_{min}}$

$$0.677 = \frac{4707.2\times(2\times 31500\times\pi\times 0.025\times L)}{141212\times 10^4}$$

$$\therefore L = \frac{0.677\times 141212\times 10^4}{4707.2\times(2\times 31500\times\pi\times 0.025)} = \underline{\underline{4.131}}\text{m}$$

المسألة (32):-

في مبادل حراري مخرج الماسورة $\dot{m}_h c_h = 0.5\dot{m}_c c_c$. درجات حرارة مدخل الموائع الساخنة والباردة هما t_{h_1} و t_{c_1} . إشتق تعبيراً بدلالات t_{h_1} و t_{c_1} ، لسبة مساحة مبادل حراري متعاكس السريان إلي تلك لمبادل حراري متوازي السريان التي تُعطي نفس درجة حرارة مخرج المائع الساخن t_{h_2} . أوجد هذه النسبة إذا كان $t_{h_2} = 90°C, t_{c_1} = 30°C, t_{h_1} = 150°C$.



الحل:-

معطي: $C_h = 0.5C_c$; $\dot{m}_h c_h = 0.5\dot{m}_c c_c$ ؛ $(t_{h_2})_{parallel} = (t_{h_2})_{counter}$

فاعلية المبادل الحراري $\in$ تُعطي بـ

$$\in = \frac{C_h\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)} = \frac{C_c\left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)}$$

في هذه الحالة، $C_{min} = C_h$ و $C_h = 0.5C_c$ و $C_c = 2\ C_2$

$$\therefore \in = \frac{C_h\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)} = \frac{2C_h}{C_h}\left[\frac{t_{c_2} - t_{c_1}}{t_{h_1} - t_{c_1}}\right]$$

$$\text{أو} \quad \in = \left[\frac{t_{h_1} - t_{h_2}}{t_{h_1} - t_{c_1}}\right] = 2\left[\frac{t_{c_2} - t_{c_1}}{t_{h_1} - t_{c_1}}\right] \qquad (1)$$

هذه المعادلة تكون صحيحة لسريان متعاكس كما تكون صحيحة لسريان متوازي

إجعل A_p = مساحة المبادل الحراري متوازي السريان.

A_c = مساحة المبادل الحراري متعاكس السريان.

بما أنَّ $\left(t_{h_2}\right)_c = \left(t_{h_2}\right)_p$، عليه فإنَّ الحرارة المفقودة بواسطة المائع الساخن في الحالتين هي نفسها.

بما أنَّ U تكون مستقلة عن إتجاه السريان

$$\therefore Q = UA_p\left(\theta_m\right)_p = UA_c\left(\theta_m\right)_c$$

$$\therefore \frac{A_c}{A_p} = \frac{\left(\theta_m\right)_p}{\left(\theta_m\right)_c} \qquad (2)$$

من المعادلة (1)، نحصل على t_{c_2} بدلالات t_{h_1}, t_{h_2} و t_{c_1}

$$t_{c_2} = t_{c_1} + 0.5\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)$$

(a) السريان المتوازي:-

$$\theta_1 = t_{h_1} - t_{c_1}$$

$$\theta_2 = t_{h_2} - t_{c_2} = t_{h_2}\left[t_{c_1} + 0.5\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)\right]$$

$$= t_{h_2} - t_{c_2} - 0.5t_{h_1} + 0.5t_{h_2}$$

$$= 1.5t_{h_2} - 0.5t_{h_1} - t_{c_1}$$

$$\therefore \theta_1 - \theta_2 = t_{h_1} - t_{c_1} - 1.5t_{h_2} + t_{c_1}$$

$$= 1.5\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)$$

عليه،

$$\left(\theta_m\right)_p = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln\left[\theta_1 / \theta_2\right]} = \frac{1.5\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)}{\ln\left[\frac{\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)}{1.5t_{h_2} - 0.5t_{h_1} - t_{c_1}}\right]} \qquad \text{(i)}$$

(b) للسريان المتعاكس:-

$$\theta_1 = t_{h_1} - t_{c_2} = t_{h_1} - \left[t_{c_1} + 0.5\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)\right]$$

$$= 0.5t_{h_1} + 0.5t_{h_2} - t_{c_2}$$

$$\theta_2 = t_{h_1} - t_{c_1}$$

$$\therefore \theta_1 - \theta_2 = 0.5t_{h_1} + 0.5t_{h_2} - t_{c_1} - t_{h_2} + t_{c_1} = 0.5\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)$$

عليه،

$$\left(\theta_m\right)_c = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln\left[\theta_1 / \theta_2\right]} = \frac{0.5\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)}{\ln\left[\frac{0.5\left(t_{h_1} + t_{h_2}\right) - t_{c_1}}{t_{h_2} - t_{c_1}}\right]} \qquad \text{(ii)}$$

بتعويض قيَّم (i) و (ii) في المعادلة (2)، نحصل على

$$\frac{(\theta_m)_c}{(\theta_m)_p} = \frac{1.5(t_{h_1} - t_{h_2})}{\ln\left[\frac{(t_{h_1} - t_{c_1})}{1.5t_{h_2} - 0.5t_{h_1} - t_{c_1}}\right]} \times \frac{\ln\left[\frac{0.5(t_{h_1} + t_{h_2}) - t_{c_1}}{t_{h_2} - t_{c_1}}\right]}{0.5(t_{h_1} - t_{h_2})}$$

$$= 3\left[\frac{\ln\left[\frac{0.5(t_{h_1} + t_{h_2}) - t_{c_1}}{t_{h_2} - t_{c_1}}\right]}{\ln\left[\frac{(t_{h_1} - t_{c_1})}{1.5t_{h_2} - 0.5t_{h_1} - t_{c_1}}\right]}\right]$$

البيانات المعطاة هي: $t_{h_2} = 90°C, t_{c_1} = 30°C, t_{h_1} = 150°C$

$$\therefore \frac{A_c}{A_p} = 3\left[\frac{\ln\left[\frac{0.5(150+90)-30}{90-30}\right]}{\ln\left[\frac{150-30}{1.5\times 90 - 0.5\times 150 - 30}\right]}\right]$$

$$= 3\left[\frac{\ln(1.5)}{\ln(4)}\right] = \underline{\underline{0.877}}$$

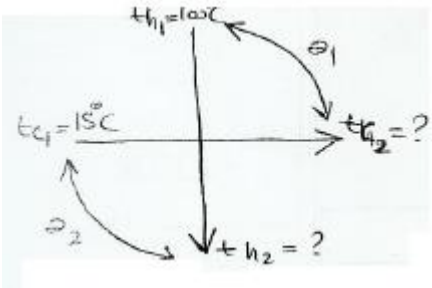
المسألة (33):-

8000kg/h من هواء عند 100°C يتم تبريده بإمراره خلال مبادل حراري متعارض السريان بممر مفرد (a single pass cross-flow H. exchanger). إلي أيَّ درجة حرارة سيتم تبريد الهواء إذا كان الماء الداخل عند 15°C يمر خلال الأنابيب بدون خلط بمعدَّل 7500kg/h؟

خذ:-

$U=500kj/h\text{-}m^2°C$؛ $A=20m^2$؛ $c_p(air)=1kj/kg°C$، $c_p(water)=4.2kj/kg°C$؛

عامل كلا المائعين لغير مخلوطين.



الحل:-

معطي: $\dot{m}_h = \frac{8000}{3600} 2.22 kg/s$ ؛ $C_h = 1 kj/kg°C$ ؛ $t_{h_1} = 100°C$ ؛

$$A = 20 m^2 \text{ ؛ } C_c = 4.2 kj/kg°C \text{ ؛ } \dot{m}_c = \frac{7500}{3600} 2.08 kg/s$$

$$U = \frac{500 \times 10^3}{3600} = 138.9 W/m^2 °C .$$

$$C_h = \dot{m}_h C_h = 2.22 \times (1 \times 10^3) = 2220 = C_{min}$$
$$C_c = \dot{m}_c C_c = 2.08 \times (4.2 \times 10^3) = 8736 = C_{max}$$

$$\therefore \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{2220}{8736} = \underline{0.254}$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{138.9 \times 20}{2220} = \underline{1.25}$$

للقيَّم المحسوبة $\frac{C_{min}}{C_{max}} = \underline{0.254}$ و $NTU = 1.25$، من الشكل (10.48)، نحصل على

$$\in \approx 0.63$$

$$\in = \frac{C_h (t_{h_1} - t_{h_2})}{C_{min} (t_{h_1} - t_{c_1})} = \frac{C_c (t_{c_2} - t_{c_1})}{C_{min} (t_{h_1} - t_{c_1})}$$

أو $0.63 = \frac{2220(100 - t_{h_2})}{2220(100-25)} = \frac{8736(t_{c_2} - 15)}{2220(100-15)}$

أو $0.63 = \frac{100 - t_{h_2}}{100-15} = 3.935 \left[\frac{t_{c_2} - 15}{100-15} \right]$

$$\therefore t_{h_2} = 100 - 0.36(100-15) = \underline{46.45}\,°C$$

$$\text{و} \quad t_{c_2} = \frac{0.63(100-15)}{3.935} + 15 = \underline{28.6}\,°C$$

يتم تبريد الهواء إلي درجة حرارة دنيا مقدارها $\underline{\underline{46.45}}\,°C$.

المسألة (34):-

من المطلوب تصميم مبادل حراري متعارض السريان بأنبوب ذو زعانف لتسخين ماء تحت ضغط بواسطة غازات عادم ساخنة تدخل إلي المبادل الحراري عند $310°C$ وتغادره عند $110°C$، على الترتيب. معامل إنتقال الحرارة لغازات العادم الساخنة المؤسسة على جانب الغاز هي $105W/m^2°C$. مستخدماً أسلوب عدد وحدات إنتقال الحرارة، أحسب الآتي:-

i/ الفاعلية.

ii/ مساحة سطح جانب الغاز.

خذ الخواص التالية:-

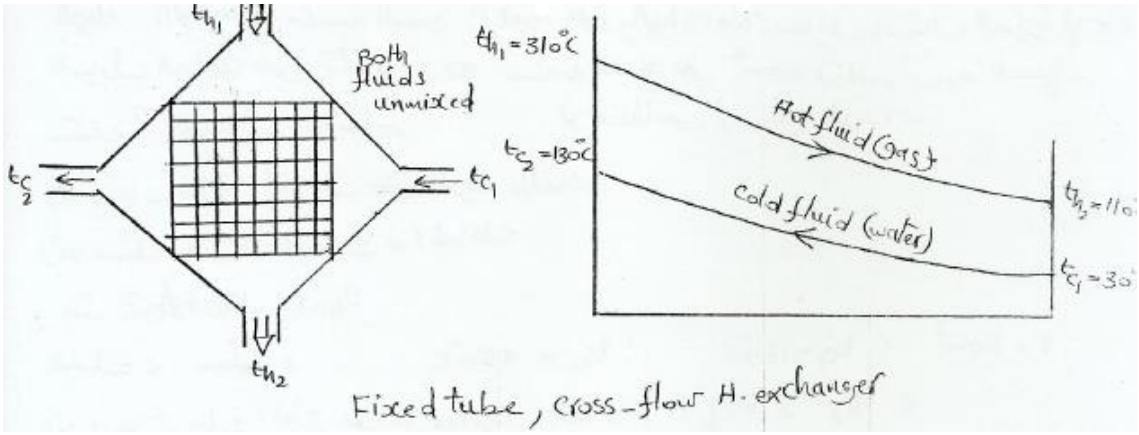
غاز العادم: $c_p = 1kj/kg°C$؛

الماء عند $t_b = 80°C$: $c_p = 4.2kj/kg°C$.

الحل:-

معطي:- $\dot{m}_w = \dot{m}_c = 1.4kg/s$ ، $t_{c_1} = 30°C$ ؛ $t_{c_1} = 30°C$ ؛ $C_c = 4.2kj/kg°C$

$U_h = 105W/m^2°C$ ؛ $C_h = 1kj/kg°C$ ؛ $t_{h_2} = 110°C$ ؛ $t_{h_1} = 310$.



(i) الفاعلية، ∈:-

السعة الحرارية للمائع البارد،

$$C_c = \dot{m}_c C_c = 1.4 \times 4.2 = 8736 = \underline{5.88} \text{kW} / °\text{C}$$

قيمة C_h (السعة الحرارية للمائع الساخن) يمكن الحصول عليها من معادلة موازنة الطاقة الإجمالية، بالتالي

$$\dot{m}_h C_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = \dot{m}_c C_c \left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$
$$C_h \left(t_{h_1} - t_{h_2}\right) = C_c \left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)$$
$$C_h = \frac{C_c \left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)}{\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)} = \frac{5.88(130-30)}{310-110} = \underline{2.94} \text{kW} / °\text{C}$$

بالتالي $C_{min} = C_h = 2.94 \text{kW} / °\text{C}$ و $C_{max} = C_c = 5.88 \text{kW} / °\text{C}$

عندما $C_c > C_h$، بالتالي فإنَّ الفعالية ∈ تُعطي بـ

$$\in = \frac{t_{h_1} - t_{h_2}}{t_{h_1} - t_{c_1}} = \frac{310-110}{310-30} = \underline{\underline{0.741}}$$

(ii) مساحة جانب سطح الغاز، Ah:-

$$\frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{2.94}{5.88} = 0.5$$

بإعتبار $\frac{C_{min}}{C_{max}} = 0.5$ و $\in = 0.741$ ومن الشكل (10.48)، نحصل على

$$NTU \approx 1.8$$

لكن $NTU = \frac{U_h A_h}{C_{min}}$

$$1.8 = \frac{105 \times A_h}{2.94 \times 1000}$$

$$\therefore A_h = \frac{1.8 \times 2.94 \times 1000}{105} = \underline{\underline{50.4}}\, m^2$$

المسألة (35):-

في محطة قدرة غاز توربينية يتم إنتقال الحرارة في مبادل حراري من الغازات الساخنة المغادرة للتوربينة عند 450°C إلي الهواء المغادر للضاغط عند 170°C. معدَّل سريان الهواء 5000kg/s ونسبة الوقود إلي الهواء هي 1.015kg/kg. معامل إنتقال الحرارة الإجمالي للمبادل الحراري هي $52.33 W/m^2°C$. مساحة السطح هي $50m^2$ وتكون ترتيبة السريان متعارضة بحيث أن المائعان لا يختلطان. أحسب الآتي:-

i/ درجات حرارة المخرج على جانبي الهواء والغاز.

ii/ معدَّل إنتقال الحرارة في المبادل.

خذ $C_h = C_c = 1.05 kj/kg°C$.

الحل:-

معطي: $t_{h_1} = 450$؛ $t_{c_1} = 170°C$ ؛ $A = 50m^2$.

(i) درجات حرارة المخرج على جانبي الهواء والغاز، t_{c_2} و t_{h_2}:-

$$\dot{m}_c = \frac{5000}{3600} = \underline{1.388}\, kg/s$$

$$C_c = \dot{m}_c c_c = 1.388 \times \left(1.05 \times 10^3\right) = \underline{1457.4}$$

(بما أنَّ 1.05kg من الغازات يتم تكوينه بـ 1kg من الهواء)

$$\dot{m}_h = \frac{5000 \times 1.015}{3600} = \underline{1.41} \text{kg/s}$$

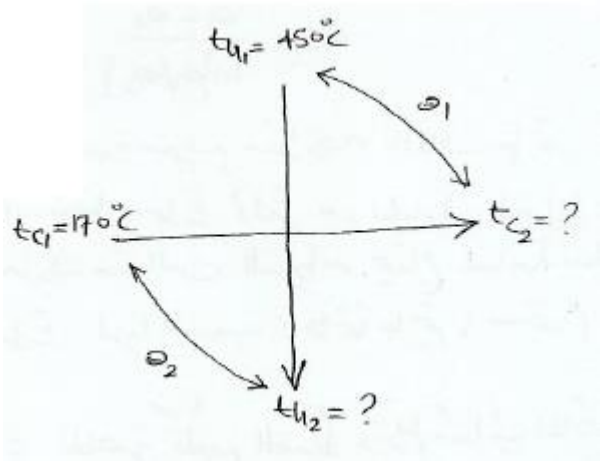
$$C_h = \dot{m}_h c_h = 1.41 \times \left(1.05 \times 10^3\right) = \underline{1480.5}$$

$$\therefore \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{1457.4}{1480.5} = \underline{0.984}$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{52.33 \times 50}{1457.4} \underline{\underline{1.795}}$$

للقيَّم المحسوبة لـ $\frac{C_{min}}{C_{max}} = 0.984$ و $NTU = 1.795$ ومن الشكل (10.48)، نحصل على

$$\in \approx \underline{0.52}$$



تُعطي الفاعلية $\in$ بـ

$$\in = \frac{C_h\left(t_{h_1} - t_{h_2}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)} = \frac{C_c\left(t_{c_2} - t_{c_1}\right)}{C_{min}\left(t_{h_1} - t_{c_1}\right)}$$

$$\therefore 0.52 = \frac{1480.5\left(450 - t_{h_2}\right)}{1457.4\left(450 - 25\right)}$$

أو $\Rightarrow t_{h_2} = \underline{\underline{306.6}}\,°C$

و $0.52 = \dfrac{t_{c_2} - 170}{450 - 170}$

$\therefore \Rightarrow t_{c_2} = \underline{\underline{315.6}}\,°C$

ii/ معدَّل إنتقال الحرارة في المبادل، Q:-

$$Q = UA(\theta_m)_{counter} = FUA(\theta_m)_{counter} \qquad (i)$$

حيث F = عامل التصحيح.

$$(\theta_m)_{counter} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln(\theta_1/\theta_2)} = \frac{(t_{h_1} - t_{c_1}) - (t_{h_2} - t_{c_2})}{\ln[(t_{h_1} - t_{c_1})/(t_{h_2} - t_{c_2})]}$$

$$= \frac{(450 - 315.6)0 - (306.6 - 170)}{\ln[(450 - 315.6)/(306.6 - 34.77)170]} = \frac{134.4 - 136.6}{\ln[(134.4/136.6)]}$$

$$= \underline{135.5}\,°C$$

نسبة درجة الحرارة , $P = \dfrac{t_{c_2} - t_{c_1}}{t_{h_1} - t_{c_1}} = \dfrac{315.5 - 170}{450 - 170} = \underline{0.52}$

نسبة السعة الحرارية , $R = \dfrac{t_{h_1} - t_{h_2}}{t_{c_2} - t_{c_1}} = \dfrac{450 - 306.6}{315.6 - 170} = \underline{0.985}$

بإستخدام القيَّم P و R ، من الشكل (10.48) نحصل على

$$F = 0.76$$

بتعويض القيَّم في المعادلة (i)، نحصل على

$$Q = 0.76 \times 52.33 \times 50 \times 1355 = \underline{269447}\,W \quad \text{or} \quad \underline{\underline{269.45}}\,kW$$

ملخص

(Summary)

1/ المبادل الحراري هو جهاز يقوم بنقل الطاقة من مائع ساخن إلي مائع بارد بمعدَّل أقصى وبتكاليف إستثمار وتشغيل أدني.

2/ متوسط فرق درجة الحرارة اللوغريثمي لسريان متوازي أو لسريان متعاكس يُعطي بـ

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln[\theta_1 / \theta_2]}$$

θ_m لوحدة سريان متعاكس تكون دائماً أكبر من وحدة سريان متوازي، بالتالي فإنَّ المبادل الحراري متعاكس السريان يمكن أن ينقل حرارة أكثر من المبادل الحراري متوازي السريان؛

بمعنـي آخـر فـإنَّ المبـادل الحـراري متعـاكس السـريان يحتـاج لمسـاحة سـطح تسـخين أصـغر لنفس معدَّل إنتقال الحرارة. لهذا السبب، دائماً ما يتم إستخدام ترتيبة السريان المتعاكس.

3/ الإتساخ أو الصدأ (Fouling or Scaling):- ظاهرة تكون الصدأ وتراكم شوائب المائع في أنابيب مبادل حراري أثناء تشغيله الإعتيادي تُسمي بالإتساخ.

مقلوب معامل إنتقال الحرارة h_s يُسمي بعامل الإتساخ، R_f

$$R_f = \frac{1}{h_s} m^2 °C/W \qquad \text{(i)}$$

$$R_f = \frac{1}{U_{dirty}} - \frac{1}{U_{clean}} \qquad \text{(ii)}$$

إنتقال الحرارة بإعتبار المقاومة الحرارية نتيجة لتكوُّن الصدأ يُعطي بـ

$$Q = \frac{t_i - t_o}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{1}{A_i h_{s_i}} + \frac{1}{2\pi Lk}\ln(r_o/r_i) + \frac{1}{A_o h_{s_o}} + \frac{1}{A_o h_o}} \qquad \text{(iii)}$$

معاملات إنتقال الحرارة الإجمالي، U المؤسسة على الأسطح الداخلية والخارجية للأنبوب الداخلي تُعطي بـ

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_{f_i} + \frac{r_i}{k}\ln(r_o/r_i) + \left(\frac{r_i}{r_o}\right)R_{f_o} + \left(\frac{r_i}{r_o}\right)\frac{1}{h_o}} \qquad \text{(iv)}$$

$$U_o = \frac{1}{(r_o/r_i)\frac{1}{h_i} + \left(\frac{r_i}{r_o}\right)R_{f_i} + \frac{r_o}{k}\ln(r_o/r_i) + R_{f_o} + \frac{1}{h_o}} \qquad \text{(v)}$$

(vi) بتجاهل عامل الإتساخ

$$U_o = \frac{1}{(r_o/r_i)\frac{1}{h_i} + \frac{r_o}{k}\ln(r_o/r_i) + \frac{1}{h_o}}$$

عندما يكون الأنبوب رفيع الجدار ويتم تجاهل المقاومات الحرارية الناتجة من سمك جدار الأنبوب والإتساخ المتكوّن.

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

4/ فاعلية المبادل الحراري $\{\in\}$ يتم تعريفها كنسبة الحرارة المنتقلة الفعلية إلي الحرارة القصوى الممكنة. علي،

$$\in = \frac{\text{الحرارة المنتقلة الفعلية } (Q)}{\text{الحرارة المنتقلة القصوى الممكنة } Q_{max}} \qquad \text{(i)}$$

$$\{\in\}_{\text{parallel flow}} = \frac{1 - e^{-NTU(1+R)}}{1+R} \qquad \text{(ii)}$$

$$\{\in\}_{\text{counter flow}} = \frac{1 - e^{-NTU(1-R)}}{1 - Re^{-NTU(1-R)}} \qquad \text{(iii)}$$

حيث، $R = \frac{C_{min}}{C_{max}}$ = نسبة السعة الحرارية

NTU = عدد وحدات إنتقال الحرارة.

NTU هو مقياس الفاعلية للمبادل الحراري.

View publication stats