1- Condensers المكثفات

مكثف مبرد بالهواء — يطرح — $Q_{cond.}$

12-1 An air cooled condenser is to reject 70 kW of heat from a condensing refrigerant to air. The condenser has an air-side area of 210 m^2 (A_o) and a U value based on this area of 0.037 kW/m^2.K; it is supplied with 6.6 m^3/s (V_a) of air, which has a density of 1.15 kg/m^3. If the condensing temperature is to be limited to 55 °C, what is the maximum allowable temperature of inlet air? Ans.40.6 °C

Sol.:-

ملاحظات :- هناك معادلتين لانتقال الحرارة خلال المكثفات وكالتالي

$$q_{cond.} = U_o \cdot A_o \cdot LMTD \quad \text{---- (1)}$$

- $q_{cond.}$: حرارة المكثف (KW)
- U_o: معامل انتقال الحرارة الإجمالي (kW/m^2.K) (للجانب الخارجي)
- A_o: مساحة الجانب الخارجي (m^2)
- LMTD: فرق درجات الحرارة اللوغارتيمي (Kelvin)

أيضاً:-

$$q_{cond.} = W_a \cdot c_{p_a} (t_{out} - t_{in}) \quad \text{--- (2)}$$

- $q_{cond.}$: حرارة المكثف (KW)
- W_a: معدل تدفق الهواء الكتلي kg/s ($\dot{m}_a$)
- c_{p_a}: الحرارة النوعية للهواء (1.005 KJ/kg.K)
- t_{out}: درجة حرارة خروج الهواء °C
- t_{in}: درجة حرارة دخول الهواء °C

$$W_a = \rho_a * \dot{V}_a$$

- W_a: معدل التدفق الكتلي kg/s
- ρ_a: كثافة الهواء kg/m^3
- $\dot{V}_a$: معدل التدفق الحجمي m^3/s

أيضاً:-

$$LMTD = \frac{(t_{cond.} - t_{in}) - (t_{cond} - t_{out})}{\ln \dfrac{t_{cond} - t_{in}}{t_{cond.} - t_{out}}}$$

$$LMTD = \frac{t_{out} - t_{in}}{\ln \dfrac{t_c - t_{in}}{t_c - t_{out}}}$$

⟹ حل السؤال

→ from equation (1) من المعادلة رقم (1)

$$q_{cond.} = U_o \cdot A_o \cdot LMTD \Rightarrow 70 = 0.037 * 210 * LMTD$$

$$\Rightarrow LMTD = \frac{70}{(0.037 * 210)} = 9\ K \leftarrow$$ kelvin كلفن (وحدات فرق درجات الحرارة)

→ from equation (2)

$$q_{cond.} = \rho_a * \dot{V}_a * Cp_a * (t_o - t_i) \Rightarrow 70 = 1.15 * 6.6 * 1.005 * (t_o - t_i)$$

$$\Rightarrow (t_o - t_i) = \frac{70}{1.15 * 6.6 * 1.005} = 9.176\ K$$ أو $^{\circ}C$

$$\Rightarrow (t_o = 9.176 + t_i)$$ ← علاقة بين t_o and t_i

$$LMTD = \frac{(t_o - t_i)}{\ln \frac{(t_c - t_i)}{(t_c - t_o)}}$$

(الآن نعوض قيمة LMTD وقيمة العلاقة بين t_o و t_i وأيضاً $t_{cond.}$)

$$\therefore LMTD = 9 = \frac{9.176}{\ln \frac{(55 - t_i)}{(55 - (9.176 + t_i))}}$$

(نعمل أجراء الوسطين x طرفين)

$$\Rightarrow 9 * \ln \frac{(55 - t_i)}{(55 - 9.176 - t_i)} = 9.176$$

$$\Rightarrow \ln \frac{(55 - t_i)}{(55 - 9.176 - t_i)} = \frac{9.176}{9}$$ ⟹ يتبع

نطرح الحد ↑ نقسم ↑

$$\Rightarrow \quad e^{\ln \frac{(55-t_i)}{(45.824-t_i)}} = e^{1.019} \quad \Leftarrow$$ نأخذ exponential للطرفين

$$\therefore \quad \frac{(55-t_i)}{(45.824-t_i)} = 2.77$$

$$\Rightarrow 55 - t_i = 2.77(45.824 - t_i) = 126.95 - 2.77 t_i$$

$$(55 - t_i = 126.95 - 2.77 t_i) \leftarrow$$ نحرك الحدود لوضع t_i في جانب واحد :—

$$(2.77 t_i - t_i) = 126.95 - 55$$

$$1.77\, t_i = 71.951 \Rightarrow t_i = \frac{71.951}{1.77} = 40.650\ ^\circ C$$

(وهو الجواب المطلوب)

ملاحظة :- لإيجاد t_o نعوض في معادلة العلاقة بين t_o و t_i --

$$t_o = 9.176 + t_i = 9.176 + 40.65 = 49.826\ ^\circ C$$

ملاحظات :- 1- يجب أن تتوافق الوحدات بين $q_{cond.}$ و U_o .

2- ضبط استخدام (exp—) بالحاسبة --

3- دائماً ضع أقواس حول الحدود حتى لا يحدث خطأ عند نقل الحدود أو ضرب عدد بالحد . —

12-2 An air-cooled condenser has an expected U value of 30 $W/m^2.K$ based on the air-side area. The condenser is to transfer 60 kW with an airflow rate of 15 kg/s entering at 35 °C. If the condensing temperature is to be 48 °C, what is the required air-side area? *Ans.* 184 m^2

Sol.:- (ملاحظة :- يتم إستخدام المعادلتين السابقتين في السؤال 12-1)

$$q_{Cond.} = U_o A_o \, LMTD \quad --- (1)$$

$$60 = (30 * 10^{-3}) * A_o * \frac{(t_c - t_i) - (t_c - t_o)}{\ln \frac{(t_c - t_i)}{(t_c - t_o)}}$$

KW ⇐ W للتحويل من
أذ يجب أن تتوافق الوحدات

أذن يتبقى ايجاد t_o لغرض حساب المساحة فنذهب للمعادلة الثانية

$$q_c = W_a \cdot c_{p_a} (t_o - t_i) \quad --- (2)$$

$$\Rightarrow 60 = 15 * 1.005 * (t_o - 35)$$

$$\Rightarrow (t_o - 35) = \frac{60}{15 * 1.005} = 3.98 \overset{\text{أذن}}{\Rightarrow} t_o = 3.98 + 35$$

$$t_o = 38.98 \,°C$$

الآن نعوض في أولاً أعلاه لايجاد المساحة ..

$$60 = \left(\frac{30}{1000}\right) * A_o * \frac{38.98 - 35}{\ln \frac{(48 - 35)}{(48 - 38.98)}}$$

$$\Rightarrow \frac{60}{30/1000} = A_o \frac{3.98}{\ln\left(\frac{13}{9.02}\right)} \Rightarrow 2000 = A_o * 10.889$$

$$A_o = \frac{2000}{10.889} = 183.67 \, m^2$$

$$\simeq 184 \, m^2$$

وهي الاجابة المطلوبة

القطر الداخلي 60 أنبوب نحاس 4 ممرات للماء (مكثف مبرد بالماء)

12-3 A refrigerant 22 condenser has ~~four~~ water passes and a total 60 copper tubes that are 14 mm ID and have 2 mm wall thickness (سمك الجدار). The conductivity of copper (k النحاس) is 390 W/m.K. The outside of the tubes is finned so that the ratio of outside to inside area is 1.7 ($\frac{A_o}{A_i}$). The cooling water flow through the condenser is 3.8 L/s. ← $\dot{V}_w$ (وحدات Liter/second) ($h_i = h_w$)

a) Calculate the water-side coefficient if the water is at an average temperature of 30 °C at which temperature the properties of water (خواص) (k= 0.614 W/m.K, ρ = 996 kg/m^3, and μ = 0.000803 Pa.s, Cp_w = 4.19 kJ/kg.K). $h_o = h_{cond.}$

أوجد (U_o)

b) Using the mean condensing coefficient of 1420 W/m^2.K, calculate the overall heat-transfer coefficient based on the outside area. *Ans.* 1067 W/m^2.K

Solution :- (a) أحسب معامل انتقال الحرارة لجانب الماء

⇐ معادلة حساب معامل جانب الماء ..

$$Nu = C\,(Re)^{0.8}\,(Pr)^{0.4} = 0.023\left(\frac{V\,ID\,\rho_w}{\mu_w}\right)^{0.8} * \left(\frac{\mu_w \cdot Cp_w}{K_w}\right)^{0.4} = \left(\frac{h_i\,ID}{K_w}\right)$$

water (الماء) (نلاحظ أن المجهول فقط سرعة الماء) — عدد نسلت

$$\dot{V}_w = A \times V \Longrightarrow \dot{V}_w = \left(\frac{60}{4} * \frac{\pi}{4}\left(\frac{14}{1000}\right)^2\right) \times V$$

$\dot{V}_w$: معدل التدفق الحجمي m³/s ; A (m²): مساحة المقطع للممر الواحد ; V: سرعة الماء m/s

60: عدد الأنابيب ; 4: عدد الممرات ; $\frac{\pi}{4}(\frac{14}{1000})^2$: المساحة الداخلية لكل أنبوب ; 1000: للتحويل من mm ← m

توضيح ($A = \frac{\text{عدد الأنابيب}}{\text{عدد الممرات}} \times$ مساحة مقطع الأنبوب)

$$\Rightarrow \frac{3.8}{1000} = \left(\frac{60}{4} * \frac{\pi}{4}\left(\frac{14}{1000}\right)^2\right) \times V \Rightarrow V = \frac{3.8/1000}{2.3\times10^{-3}} = 1.645\ m/s$$

1000: للتحويل من L/s ⇐ m³/s

نعوض Cp بوحدات J/Kg.K

أذن نطبق المعادلة ⇒

$$\frac{h_i * (14\times10^{-3})}{0.614} = 0.023\left(\frac{1.645 * (14\times10^{-3}) \times 996}{0.000803}\right)^{0.8} * \left(\frac{0.000803 \times 4.19\times10^{3}}{0.614}\right)^{0.4}$$

⇒

$$\frac{h_i \times (14\times10^{-3})}{0.614} = 0.023(28565.23)^{0.8} \times (5.479)^{0.4}$$

$$\Rightarrow \frac{h_i(14\times10^{-3})}{0.614} = 166.678 \Rightarrow h_i = \frac{166.678\times0.614}{14\times10^{-3}} = 7310 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

وسطين
طرفين ×

سمك جدار الأنبوب
يهمل الحد
نضرب

$$(b)\left(\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{h_o A_o} + \frac{X}{K A_m} + \frac{1}{h_{ff} A_i} + \frac{1}{h_i A_i}\right) \times A_o$$

للنحاس (معدن الأنبوب)
لم يذكر بالسؤال

$$\Rightarrow \frac{A_o}{U_o A_o} = \frac{1\times A_o}{h_o A_o} + \frac{X A_o}{K A_m} + \frac{A_o}{h_i A_i}$$

(النحاس) copper

$$\therefore \frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{X A_o}{K A_m} + \frac{A_o}{h_i A_i}$$

هو المطلوب بالسؤال
معطى 1420
عامل مشترك
أو نستخرج A_o 2. (أو نسحب A_o)

$$A_m = \left(\frac{A_o + A_i}{2}\right), \quad \frac{A_o}{A_i} = 1.7, \quad A_m = A_o\left(\frac{1+\frac{A_i}{A_o}}{2}\right)$$

لاحظ
$\frac{A_o}{A_i} = 1.7$
$\frac{A_i}{A_o} = 1/1.7$

$$\Rightarrow \frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{X A_o}{K A_o\left(\frac{1+A_i/A_o}{2}\right)} + \frac{A_o}{h_i A_i}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{U_o} = \frac{1}{1420} + \frac{2\times10^{-3}}{390 * \left(\frac{1+1/1.7}{2}\right)} + \frac{1.7}{7310}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{U_o} = (7.042\times10^{-4}) + (6.457\times10^{-6}) + (2.325\times10^{-4})$$

$$1/U_o = 9.432\times10^{-4} \Rightarrow U_o = \frac{1}{9.432\times10^{-4}} = 1060.2 \ W/m^2 \cdot K$$

12-4 A shell-and-tube condenser has a U value of 800 W/m^2 · K based on the water-side area and a water pressure drop of 50 kPa. Under this operating condition 40 percent of the heat-transfer resistance is on the water side. If the water-flow rate is doubled, what will the new U value and the new pressure drop be? *Ans.* 964 W/m^2 · K, 200 kPa.

Solution: Given:- $U_i = 800\ W/m^2$, $\Delta P = 50\ kPa$,
40% of Thermal resistance for water side, $W_2 = 2W_1$.
Find U_{i_2} and ΔP_2.

يهمل   يهمل   يهمل

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{h_o A_o} + \frac{X}{K A_m} + \frac{1}{h_{ff} A_i} + \frac{1}{h_i A_i}$$

$$\Downarrow$$

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

$$\frac{1}{U_i} = \frac{A_i}{h_o A_o} + \frac{1}{h_i} = R_{th} = 60\%\ R_{th} + 40\%\ R_{th}$$

$$\therefore \frac{1}{h_i} = 40\%\ R_{th} = 40\%\ \frac{1}{U_i} = \frac{40}{100}\ \frac{1}{800} \Rightarrow h_i = 2000\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\frac{A_i}{h_o A_o} = 60\%\ R_{th} = 60\%\ \frac{1}{U_i} = \frac{60}{100}\ \frac{1}{800} \Rightarrow \frac{A_i}{h_o A_o} = 7.5 \times 10^{-4}\ m^2.K/W$$

When the flow of water is doubled → (عند مضاعفة تدفق الماء) نجد h_{i2} كالتالي ...

$$h_i = 0.023\,(Re)^{0.8}\,(Pr)^{0.4}\ \frac{K}{d}$$

ثوابت

$$\Rightarrow h_i = 0.023\left(\frac{V d \rho}{\mu}\right)^{0.8}\left(\frac{\mu c_p}{K}\right)^{0.4}\ \frac{K}{d} \Rightarrow h_i = C\,(V)^{0.8}$$

$$w = \rho_w \dot{V} = \rho_w A V, \ [W_1 = \rho_w A V_1,\ W_2 = \rho_w A V_2] \Rightarrow$$

يتبع

$$W_2 = 2W_1 \Rightarrow \rho A V_2 = 2\rho A V_1 \Rightarrow V_2 = 2V_1$$

$$h_{i_1} = C(V_1)^{0.8}, \quad h_{i_2} = C(V_2)^{0.8} = C(2V_1)^{0.8}$$

$$\frac{h_{i_2}}{h_{i_1}} = \frac{C(2V_1)^{0.8}}{C(V_1)^{0.8}} \Rightarrow h_{i_2} = (2)^{0.8} h_{i_1} = (2)^{0.8} \times 2000 = 3482.2 \ W/m^2 \cdot K$$

$$\frac{1}{U_{i_2}} = 60\% \cdot R_{th_1} + \frac{1}{h_{i_2}} = 7.5 \times 10^{-4} + \frac{1}{3482.2}$$

$$\frac{1}{U_{i_2}} = 1.037 \times 10^{-3} \ \frac{m^2 \cdot K}{W} \Rightarrow U_{i_2} = 964.15 \ W/m^2 \cdot K$$

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2 = 50\left(\frac{2W_1}{W_1}\right)^2 = 50(2)^2 = 200 \ kPa$$

W = mass flow rate kg/s.

$\dot{V}$ = Volume flow rate m^3/s.

A = tube cross sectional area m^2.

A_o = condenser outer surface area m^2.

A_i = condenser inner surface area m^2.

12-5 (*a*) Compute the fin effectiveness of a bar fin made of aluminum that is 0.12 mm thick and 20 mm long when $h_f = 28\ W/m^2 \cdot K$, the base temperature is 4°C, and the air temperature is 20°C. *Ans.* 0.775

(b) If you are permitted to use twice as much metal for the fin as originally specified in part (a) and you can either double the thickness or double the length, which choice would you preferable in order to transfer the highest rate of heat flow? Why?

Solution :- (a) Given:- bar fin, $2y = 0.12$ mm, $L = 20$mm

$h_f = 28\ W/m^2 \cdot K$. (η)?? , $K_A = 202\ W/m \cdot K$

$$\eta = \frac{\tanh ML}{ML}, \quad M = \sqrt{\frac{h_f}{Ky}} \Rightarrow M = \sqrt{\frac{28}{202 \times \left(\frac{0.12}{2 \times 1000}\right)}}$$

mm → m

$\therefore M = 48.064\ m^{-1}$

$$\text{and } \eta = \frac{\tanh\left(48.064 \times \frac{20}{1000}\right)}{\left(48.064 \times \frac{20}{1000}\right)} = \frac{\tanh(0.961)}{0.961} = 0.7749$$

(b) double metal $\begin{bmatrix} (1)\text{-} 2y,\ L \\ (2)\text{-} y,\ 2L \end{bmatrix}$

1- double thickness $2y = (0.12 \times 2) = 0.24$ mm; $L = 20$ mm

$$\eta = \frac{\tanh ML}{ML}, \quad M = \sqrt{\frac{h_f}{Ky}} = \sqrt{\frac{28}{202 \times \left(\frac{0.24}{2 \times 1000}\right)}} = 33.986\ m^{-1}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{\tanh\left(33.986 \times \frac{20}{1000}\right)}{\left(33.986 \times \frac{20}{1000}\right)} = 0.869$$

2- double length, $2y = 0.12$ mm, $L = 20 \times 2 = 40$ mm

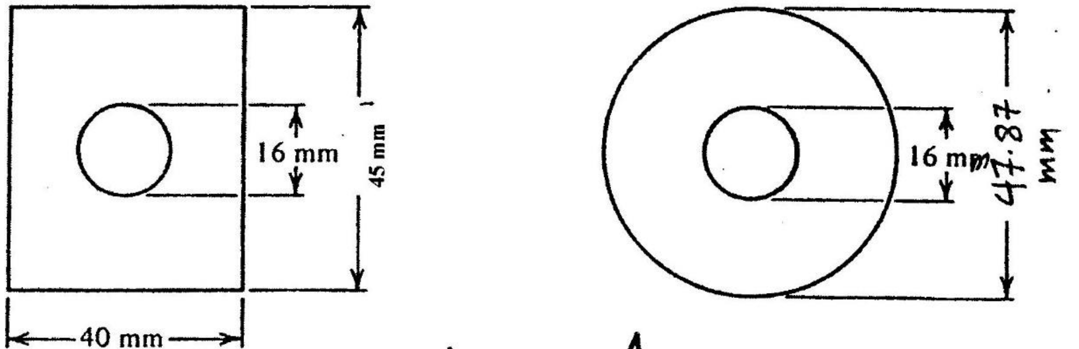
$$\eta = \frac{\tanh\left(48.064 \times \frac{40}{1000}\right)}{\left(48.064 \times \frac{40}{1000}\right)} = 0.498$$

∴ نضاعف السمك

Double thickness

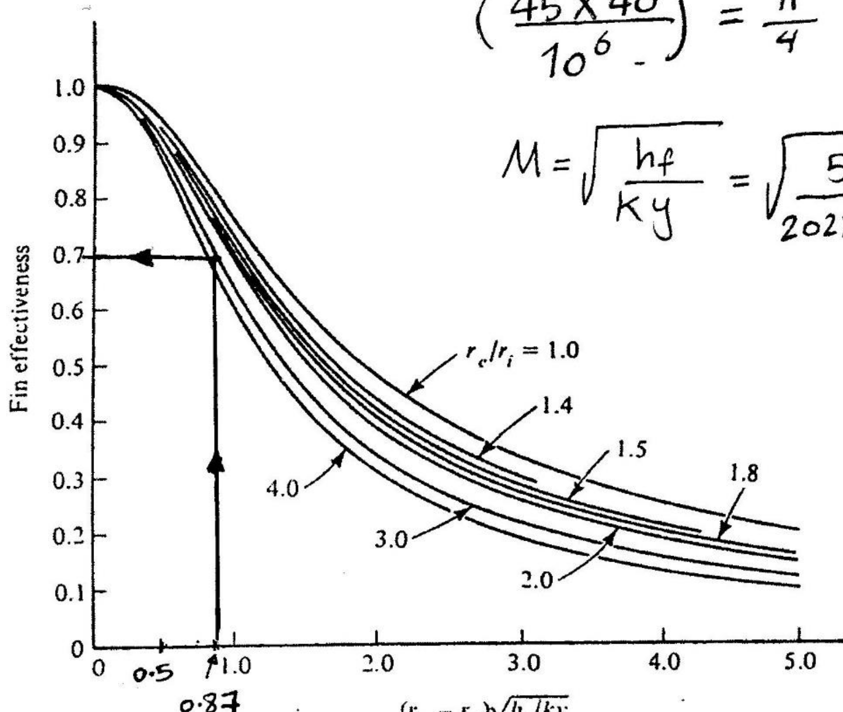
12-6 Compute the fin effectiveness of an aluminum rectangular plate fin of a finned air- cooling evaporator if the fins are 0.18 mm thick and mounted on 16 mm OD tubes. The tube spacing 40 mm in the direction of airflow and 45 mm vertically. The air side coefficient is 55 W/m^2.K. *Ans.* 0.68.

Solution :-



$$A_{Rec} = A_{annular}$$

$$\left(\frac{45 \times 40}{10^6}\right) = \frac{\pi}{4}(De)^2 \Rightarrow De = 0.0478\ m$$



$$M = \sqrt{\frac{h_f}{ky}} = \sqrt{\frac{55}{202 \times \left(\frac{0.18}{2000}\right)}} = 55\ m^{-1}$$

$$re = \frac{De}{2} = \frac{0.0478}{2} = 0.0239\ m, \quad ri = \frac{16}{2000} = 0.008\ m$$

$$(re - ri)M = (0.0239 - 0.008) \times 55 = 0.8745$$

$$\frac{re}{ri} = \frac{0.0239}{0.008} = 2.987 \simeq 3 \quad \Rightarrow \eta = 0.7$$

12-7 What is the UA value of a direct- expansion finned coil evaporator having the following areas: refrigerant side, 15 m^2; air-side prime, 13.5 m^2; and air side extended 144 m^2? The refrigerant-side heat transfer coefficient is 1300 $W/m^2.K$, and the air-side coefficient is 48 $W/m^2.K$. the fin effectiveness is 0.64. *Ans.* 4027 W/K

Solution :- for finned coil --

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{h_f(A_p + \eta A_e)} + \frac{x}{K A_m} + \frac{1}{h_i A_i}$$

$h_f = 48$, $A_p = 13.5$, $\eta = 0.64$, $A_e = 144$, $h_i = 1300$, $A_i = 15$

$$\Rightarrow \frac{1}{UA} = \frac{1}{48(13.5+(0.64 \times 144))} + \frac{1}{1300 \times 15} = 1.97 \times 10^{-4} + 5.128 \times 10^{-5}$$

$$\frac{1}{UA} = 2.482 \times 10^{-4} \ K/W, \quad UA = \frac{1}{2.482 \times 10^{-4}} = 4027.67 \ \frac{W}{K}$$

منظومة تعمل بـ R-22   سعة تثليج   Qevap.

12-8 A refrigerant 22 system having a refrigerating capacity of 55 kW operates with an evaporating temperature of 5 °C and reject heat to a water- cooled condenser. The compressor is hermetically sealed. The condenser has a U value of 450 W/ m².K and a heat transfer area of 18 m² and receives a flow rate of cooling water of 3.2 kg/s at a temperature of 30 °C. What is the condensing temperature? *Ans.* 41.2 °C ← $T_{cond.}$??

(Temp. ← ، تبخر ، مكثف مبرد بالماء ، ضاغط محكم الغلق ، U_o ← ، يستلم ماء التبريد بمعدل ، W_w ← ، t_i ←)

Solution :-

من خلال المعادلتين السابقتين في المثال 12-1

$$q_{cond.} = U_o \cdot A_o \, LMTD \quad ---(1)$$

$q_{cond.}$ ← مجهولة

$$LMTD = \frac{(t_c - t_i) - (t_c - t_o)}{\ln \frac{(t_c - t_i)}{(t_c - t_o)}}$$

(t_c ? مطلوب حسابها ، t_i = 30 ، t_o ? مجهولة أيضاً)

$$q_c = W_{water} \cdot Cp_w (t_o - t_i) \quad ---(2)$$

(q_c مجهولة ، t_o مجهولة)

∴ نفرض أن $(t_o - t_i = 5°C)$ في منظومات التكييف

$(t_o = 5 + 30 = 35°C)$

(يجب أن نفحص الفرض بعد الحصول على t_c)

$$\Rightarrow q_c = 3.2 \times 4.19 \times (5)$$

(KW ← ، Cp الماء بالكيلوجول)

$$\Rightarrow q_c = 67.04 \text{ KW}$$

نعوض في (1) اعلاه -

$$67.04 = \frac{450}{1000} * 18 * \frac{5}{\ln \frac{t_c - 30}{t_c - 35}}$$

(1000 ← للتحويل من W ← KW) ، (5 ← $(t_o - t_i)$)

$$\Rightarrow 67.04 = \frac{(450 \times 10^{-3} * 18 * 5)}{\ln \frac{(t_c - 30)}{(t_c - 35)}} \Rightarrow \ln \frac{(t_c - 30)}{(t_c - 35)} = \frac{40.5}{67.04}$$

نحول عن طريق الوسطين X طرفين

$$\therefore e^{\ln \frac{(t_c - 30)}{(t_c - 35)}} = e^{(0.604)}$$

نأخذ exponential للطرفين

يتبع ⟹

$$\Rightarrow \frac{(t_c-30)}{(t_c-35)} = 1.829 \Rightarrow (t_c-30) = 1.829(t_c-35)$$

$$\Rightarrow t_c - 30 = 1.829\, t_c - 64.029$$

(نحرك الحدود لجعل t_c في جهة واحدة)

$$\Rightarrow 64.029 - 30 = 1.829\, t_c - t_c \Rightarrow 34.029 = 0.829\, t_c$$

$$\Rightarrow t_c = \frac{34.029}{0.829} = 41.048\,^\circ C$$

ملاحظة ⇐ هذه النتيجة حسب فرضية $t_o = 35^\circ C$ ⇐ ويجب فحص الفرض . عن طريق ايجاد q_c باستخدام المخطط المبين أدناه

$$q_c = HRR * q_{evap}$$

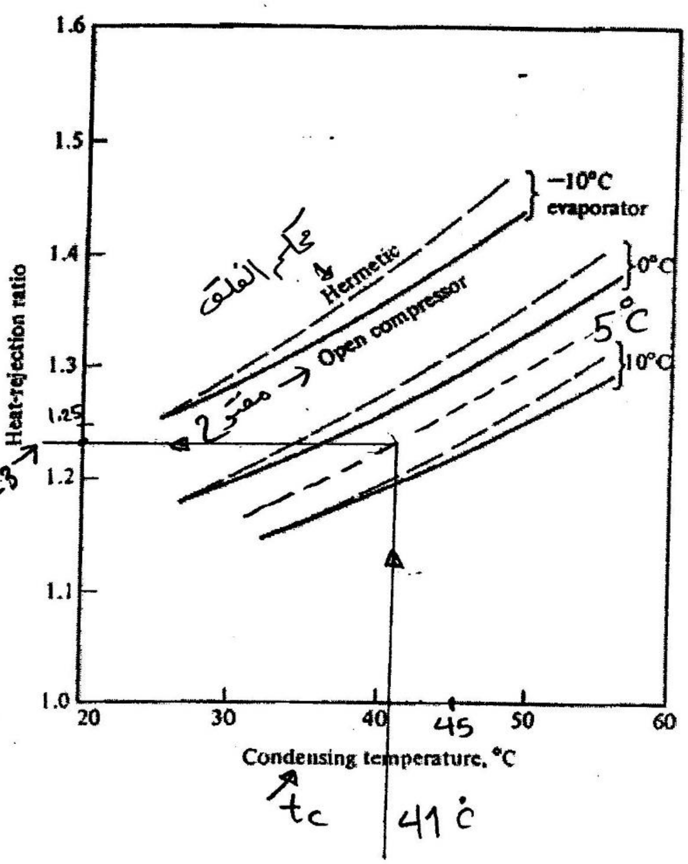
↑ معامل الحرارة المطرودة (Heat rejection ratio)

$$\therefore q_c = 1.23 \times 55 \quad (q_{evap.})$$

$$q_c = 67.65\ KW$$

وهي مقاربة للفرض

∴ الفرض صحيح



ملاحظة :-

1 - قد يعطى بالسؤال q_{cond} مباشرة فلا حاجة للفرض والفحص .

2 - قد يعطى HRR مع $q_{evap.}$ فنضرب القيم للحصول على q_c ⇐ $q_c = HRR * q_{evap.}$ ونكمل الحل كما سبق ..

(ho = hcond) متوسط معامل انتقال الحرارة بالتكثيف R-12 تتكثف

12-9. Calculate the mean condensing heat-transfer coefficient when refrigerant 12 condenses on the outside of the horizontal tubes in a shell-and-tube condenser. The outside diameter of the tubes is 19 mm, and in the vertical rows of tubes there are, respectively, two, three, four, three and two tubes. The refrigerant is condensing at a temperature of 52 °C, and the temperature of the tubes is 44 °C.
Ans. 1066 W/m².K

Solution — من معادلة حساب $h_{cond.}$

$$h_{cond.} = 0.725\left(\frac{g \cdot \rho^2 \cdot h_{fg} \cdot K^3}{\mu \cdot \Delta t \cdot N \cdot D}\right)^{1/4}$$ ← تحفظ المعادلة

g = Gravity acceleration $9.81 \frac{m}{s^2}$ التعجيل الأرضي

$\rho = \frac{1}{v_f}$ ← m^3/s ⇒ (كثافة الفريون السائل وهي مقلوب الحجم النوعي) من الجدول عند درجة حرارة t_c

$h_{fg} = (h_g - h_f)$ (J/kg مقدار الحرارة الكامنة للفريون بوحدات عند درجة حرارة التكثيف t_c)

K = Conductivity (معامل التوصيل للفريون عند t_c بوحدات W/m.K) جدول 15-5

μ = Viscosity Pa.s (معامل اللزوجة عند t_c جدول 15-5)

$\Delta t = t_c - t_{tube}$, $N = \frac{\text{No. of tubes عدد الأنابيب}}{\text{No. of vertical rows عدد الأعمدة}}$

D = OD (outside diameter) القطر الخارجي للأنبوب بوحدات (m)

⇒

⟸ من جدول خواص R-12 عند $t_c = 52^\circ C$

$$h_g - h_f = h_{fg} = (370.997 - 251.004) = 119.993\ KJ/Kg$$
$$= 119.993 \times 10^3\ J/Kg$$

$$\rho = \frac{1}{v_f} = \frac{1}{0.8317 \times 10^{-3}} = 1202.356\ \frac{Kg}{m^3}$$

[$v_f = 0.8317\ L/Kg$) فيجب أن يتحول الى $\frac{m^3}{Kg}$

للتحويل من L/Kg ⟵ $\frac{m^3}{Kg}$

⟸ من جدول 15-5 نستخرج K و μ (لحالة Liquid) عند $52^\circ C$

		μ
	40	0.000194
R-12	52	μ
	60	0.000169

$$\Rightarrow \frac{(\mu - 0.000194)}{(0.000169 - 0.000194)} = \frac{(52-40)}{(60-40)}$$

الفرق المقابل لدرجة الحرارة

$$\Rightarrow \mu = 1.79 \times 10^{-4}\ Pa.s$$

أيضاً

		K
	40	0.0637
R-12	52	K
	60	0.0564

$$\Rightarrow \frac{(K - 0.0637)}{(0.0564 - 0.0637)} = \frac{(52-40)}{(60-40)}$$

الفرق المقابل لدرجة الحرارة

$$\Rightarrow K = 0.05932\ W/m.K, \quad \Delta t = 52 - 44 = 8^\circ C$$

$$N = \frac{2+3+4+3+2}{5} = 2.8, \quad OD = 19 \times 10^{-3}\ m$$

(5) عدد الأعمدة ⟵ 5

$$\therefore h_{cond.} = 0.725 \left(\frac{9.81 * (1202.356)^2 * (119.993 \times 10^3) * (0.05932)^3}{(1.79 \times 10^{-4}) * 8 * 2.8 * (19 \times 10^{-3})} \right)^{1/4}$$

$$h_{cond.} = 1065.36\ W/m^2.K$$

وهي الاجابة المطلوبة

ملاحظة :- قد نعطى الخواص لتسهيل الاجابة ---

الجداول في الصفحة اللاحقة ⟹

Table A-5 (continued)

t, °C	P, kPa	Enthalpy, kJ/kg h_f	Enthalpy, kJ/kg h_g	Entropy, kJ/kg · K s_f	Entropy, kJ/kg · K s_g	Specific volume, L/kg v_f	Specific volume, L/kg v_g
50	1219.3	248.884	370.396	1.16170	1.53770	0.82573	14.1701
→ 52	1276.6	(251.004	370.997)	1.16810	1.53712	0.83179	13.4931
54	1335.9	253.144	371.581	1.17451	1.53651	0.83804	12.8509
56	1397.2	255.304	372.145	1.18093	1.53589	0.84451	12.2412

Table 15-5 Thermal conductivities and viscosities of saturated refrigerant liquid and vapor[1]

Refrigerant	t, °C	Viscosity, Pa · s Liquid	Viscosity, Pa · s Vapor	Conductivity, W/m · K Liquid	Conductivity, W/m · K Vapor
11	−40	0.000922		0.106	
	−20	0.000694		0.100	
	0	0.000546		0.0943	
	20	0.000441	0.0000103	0.0890	
	40	0.000367	0.0000119	0.0832	0.00841
	60	0.000312	0.0000127	0.0777	0.0093
→ 12	−40	0.000409		0.0931	
	−20	0.000325	0.0000108	0.0857	0.00734
	0	0.000267	0.0000118	0.0784	0.00838
	20	0.000225	0.0000126	0.0711	0.00938
$t_c = 52$ →	40	(0.000194	0.0000135	(0.0637	0.0105
	60	0.000169)	0.0000148	0.0564)	0.0118
→ 22	−40	0.000330	0.0000101	0.120	0.0069
	−20	0.000275	0.0000110	0.110	0.00817
	0	0.000237	0.0000120	0.100	0.00942
	20	0.000206	0.0000130	0.090	0.0107
خواص حل السؤال الامتحاني صفحة 13 →	40	(0.000182)	0.0000144	(0.0805)	0.0119
	60	0.000162	0.0000160	0.0704	0.0133
502	−40	0.000356	0.0000100	0.0898	0.00796
	−20	0.000284	0.0000111	0.0820	0.00907
	0	0.000233	0.0000120	0.0742	0.0102
	20	0.000193	0.0000132	0.0665	0.0114
	40	0.000153	0.0000146	0.0585	0.0124
	60	0.000117	0.0000161	0.0486	0.0144
717	−40			0.632	
	−20	0.000236	0.0000097	0.585	0.0204
	0	0.000190	0.0000104	0.540	0.0218
	20	0.000152	0.0000112	0.493	0.0267
	40	0.000122	0.0000120	0.447	0.0318
	60	0.000098	0.0000129	0.400	0.0381

12-10 A condenser manufacturer guarantees the U value under operating conditions to be 990 W/m^2.K based on the water-side area. In order to allow for fouling of the tubes, what is the U value required when the condenser leaves the factory? *Ans.*1200 W/m^2.K

Solution:-

$U_{iOpe.}$= Operating U value.

$U_{iFac.}$= Factory U value.

$$\frac{1}{U_{iOpe.}A_i} = \frac{1}{U_{iFac.}A_i} + \frac{1}{h_{ff}A_i}$$

$$\frac{1}{U_{iOpe.}} = \frac{A_i}{U_{iFac.}A_i} + \frac{A_i}{h_{ff}A_i} \Rightarrow \frac{1}{U_{iOpe.}} = \frac{1}{U_{iFac.}} + \frac{1}{h_{ff}}$$

$$\frac{1}{990} = \frac{1}{U_{iFac.}} + 0.000176 \Rightarrow \frac{1}{U_{iFac.}} = 8.3411 \times 10^{-4} \Rightarrow U_{iFac.} = 1198.89 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

12-11 In Example 12-3 the temperature difference between the refrigerant vapor and tubes ($t_o - t_{os}$) was initially assumed to be 5 K in order to compute the condensing coefficient. Check the validity of this assumption. *Ans.* Δt from 8.2 °C to 12.3 °C

Solution:-

$q = h_o A_o (t_o - t_{os})$ from example solution ⇒ 101.6 = 1528 x 8.43 x Δt

Δt = 7.88 °C

$$\text{LMTD} = \frac{(t_c - t_i) - (t_c - t_o)}{\ln [(t_c - t_i)/(t_c - t_o)]}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(45 - 30) - (45 - 35)}{\ln \frac{(45 - 30)}{(45 - 35)}} = 12.33°\text{C}$$

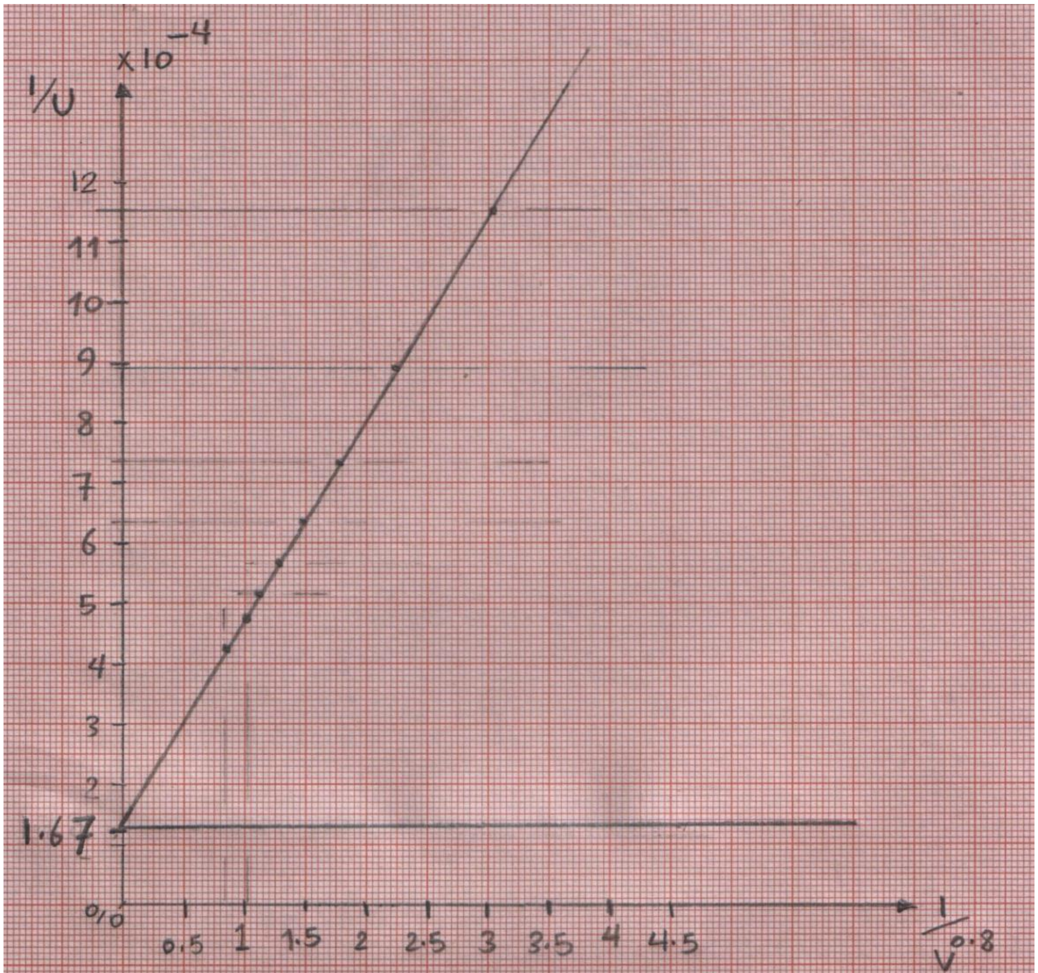
12-13 The following values were measured on an ammonia condenser.

U_o W/m^2.K	2300	2070	1930	1760	1570	1360	1130	865
V, m/s	1.22	0.975	0.853	0.731	0.610	0.488	0.366	0.244

Water flowed inside the tubes, and the tubes were 51mm OD and 46 mm ID and had a conductivity of 60 W/m.K. Using a Wilson plot, determine the condensing coefficient. ***Ans.*** **8600 W/m^2.K**

<u>Solution:-</u>

$1/U_o$	4.3×10^{-4}	4.8×10^{-4}	5.18×10^{-4}	5.68×10^{-4}	6.36×10^{-4}	7.35×10^{-4}	8.84×10^{-4}	1.15×10^{-3}
$1/V^{0.8}$	0.85	1.02	1.135	1.28	1.48	1.775	2.23	3.09



$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{X A_o}{K A_m} = \frac{1}{h_o} + \frac{\left(\frac{OD-ID}{2}\right) \times OD}{K\left(\frac{OD+ID}{2}\right)}$$

$$1.67\times10^{-4} = \frac{1}{h_o} + \frac{\left(\frac{0.051-0.046}{2}\right) \times 0.051}{60 \times \left(\frac{0.051+0.046}{2}\right)}$$

$$\Rightarrow h_o = 8118 \ W/m^2.K$$