

ΓΕΝΙΚΗ ΥΠΟΔΕΙΞΗ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι εργασίες παραδίδονται σε ψηφιακή μορφή (φύλλο εργασίας ή/και αρχείο κειμένου), με κατάθεση μέσω του e-class.

Τίτλος αρχείου: Εργασία_1_Παπαδόπουλος_Νικολαΐδης(.xls, .doc, .odt κλπ)

9ο εξάμηνο Μηχανολόγων
Μάρτιος 2021

ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

1η Εργασία (~~παράδοση έως Παρασκευή 26 Μαρτίου~~)

1. (α) Ο προθερμαντήρας νερού (economizer) ενός ατμοπαραγωγού με υδραυλούς, πίεσης 50 bar, σχεδιάζεται να λειτουργεί σε αντιρροή, με παροχές και θερμοκρασίες εισόδου καυσαερίων και νερού $m_g=10,5$ kg/s, $T_{gi}=560^\circ\text{C}$ και $m_w=8,0$ kg/s, $T_{wi}=130^\circ\text{C}$ αντίστοιχα. Το νερό θα διοχετεύεται στη συνέχεια απευθείας στο τύμπανο, υπόψυκτο κατά 15°C . Αν ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι $U=45$ W/m² °C και οι μέσες ειδικές θερμοχωρητικότητες των δύο ρευμάτων ληφθούν ως $c_{pg}=1,11$ kJ/kg°C και $c_{pw}=4,50$ kJ/kg°C, υπολογίστε την απαιτούμενη επιφάνεια εναλλαγής.

(β) Η μονάδα που κατασκευάστηκε σύμφωνα με το (α), πρόκειται να λειτουργήσει με τις ίδιες παροχές αλλά θερμοκρασίες εισόδου $T_{gi}=520^\circ\text{C}$ και $T_{wi}=120^\circ\text{C}$. Πόσο θα αποκλίνει η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τις συνθήκες σχεδιασμού;

Λύση

α)

$$P = 50\text{bar} \Rightarrow T_{sat} = 264^\circ\text{C} \Rightarrow T_{w,o} = 264^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = 249^\circ\text{C}$$

$$Q = m_w c_{pw} (T_{wo} - T_{wi}) = 4284\text{kW}$$

$$Q = m_g c_{pg} (T_{gi} - T_{go}) \Rightarrow T_{go} = 192^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{LM} = \frac{(560^\circ\text{C} - 249^\circ\text{C}) - (192^\circ\text{C} - 130^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{560^\circ\text{C} - 249^\circ\text{C}}{192^\circ\text{C} - 130^\circ\text{C}}\right)} = 154^\circ\text{C}$$

$$Q = UA\Delta T_{LM} \Rightarrow A = 618\text{m}^2$$

β)

$$C_g = 11.655\text{kW}/^\circ\text{C}$$

$$C_w = 36.0\text{kW}/^\circ\text{C}$$

$$C_R = 0.32375$$

$$C_{\min} = C_g$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}} = 2.386$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-(1 - C_R)NTU]}{1 - C_R \exp[-(1 - C_R)NTU]} = 0.856$$

$$\varepsilon = \frac{T_{gi} - T_{go}}{T_{gi} - T_{wi}} = \left(\frac{C_w}{C_g}\right) \frac{T_{wo} - T_{wi}}{T_{gi} - T_{wi}} \Rightarrow \begin{cases} T_{go} = 177.6^\circ\text{C} \\ T_{wo} = 230.85^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$249^\circ\text{C} - 230.85^\circ\text{C} = 18.15^\circ\text{C}$$

2. Εναλλάκτης θερμότητας χρησιμοποιείται για την θέρμανση ρεύματος πετρελαίου, παροχής 6 t/h, από 26°C σε 102°C. Η θέρμανση γίνεται με συμπύκνωση κορεσμένου ατμού 110 °C και η ειδική θερμοχωρητικότητα του πετρελαίου είναι σταθερή και ίση με 2 kJ/kg°C. Αντίθετα, ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μεταβάλλεται αισθητά με την θερμοκρασία του πετρελαίου (λόγω μεταβολής των φυσικών ιδιοτήτων), και για τον υπόψη εναλλάκτη είναι γνωστές οι εξής τιμές:

Θερμοκρασία, °C:	26	35	43	54	71	88	102
U, W/m ² °C:	140	185	230	270	340	400	450

Με τα δεδομένα αυτά, υπολογίσετε την απαιτούμενη επιφάνεια επαφής, A, του εναλλάκτη.

(ΥΠΟΔΕΙΞΗ: Προτείνεται η αριθμητική ολοκλήρωση, κατά μήκος του εναλλάκτη, της διαφορικής σχέσης μεταφοράς θερμότητας. Μια δυνατότητα είναι με χρήση φύλλου εργασίας.)

Λύση

α τρόπος

$$dQ = U(T_c) dA(T_h - T_c) \Rightarrow dA = \frac{dQ}{U(T_c)(T_h - T_c)} \Rightarrow A = \int_0^{Q_{oi}} \frac{dQ}{U(T_c)(T_h - T_c)}$$

$$A = \sum_{i=1}^{N-1} \Delta Q_i \frac{1}{2} \left[\frac{1}{U_i(T_h - T_c^i)} + \frac{1}{U_{i+1}(T_h - T_c^{i+1})} \right]$$

$$\Delta Q_i = m_c c_{pc} (T_c^{i+1} - T_c^i)$$

T _c (°C)	U (W/m ² °C)	ΔQ (W)	1/(UΔT) (m ² /W)	ΔA (m ²)
26	140	30000	8.503E-5	2.35659
35	185	26666.7	7.207E-5	1.8262
43	230	36666.7	6.489E-5	2.40223
54	270	56666.7	6.614E-5	4.01065
71	340	56666.7	7.541E-5	5.35645
88	400	46666.7	0.0001136	9.133
102	450		0.0002778	

$$A = 25.09m^2$$

β τρόπος

$$U(T_c) = -0.0126T_c^2 + 5.6419T_c + 4.084$$

$$U(T_c) = 0.0002T_c^3 - 0.0476T_c^2 + 7.6646T_c - 30.5126$$

$$\left. \begin{aligned} dQ &= U(T_c) dA(T_h - T_c) \\ dQ &= m_c c_{pc} dT_c \end{aligned} \right\} \Rightarrow dA = \frac{m_c c_{pc}}{U(T_c)(T_h - T_c)} dT$$

$$A = \int_{26^\circ C}^{102^\circ C} \frac{m_c c_{pc}}{U(T_c)(T_h - T_c)} dT$$

$$A = \int_{26^\circ C}^{102^\circ C} \frac{m_c c_{pc}}{(-0.0126T_c^2 + 5.6419T_c + 4.084)(T_h - T_c)} dT = 23.4m^2$$

$$A = \int_{26^\circ C}^{102^\circ C} \frac{m_c c_{pc}}{(0.0002T_c^3 - 0.0476T_c^2 + 7.6646T_c - 30.5126)(T_h - T_c)} dT = 23.0m^2$$

γ τρόπος

$$\Delta T_{LM} = 32.32^\circ C$$

$$Q = 25333.33W$$

$$\bar{U} = 267.86 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

$$Q = \bar{U} A \Delta T_{LM} \Rightarrow A = 27.23m^2$$

3. Εναλλάκτης διπλού σωλήνα σχεδιάζεται να συμπυκνώνει κορεσμένο ατμό πίεσης 0,124 bar ($T_{sat}=50^\circ C$), αποδίδοντάς τον ως κορεσμένο υγρό. Η παροχή ατμού στις συνθήκες σχεδιασμού είναι 0,35 kg/s, αλλά μπορεί να αυξομειώνεται ανάλογα με το θερμικό καθήκον του εναλλάκτη. Ως ψυκτικό θα χρησιμοποιείται υφάλμυρο νερό γεώτρησης (brackish water) παροχής 9 kg/s και θερμοκρασίας εισόδου $10^\circ C$. Οι συντελεστές συναγωγής στις παροχές σχεδιασμού είναι $h_o=10000 W/m^2K$ για τον ατμό και $h_i=5500 W/m^2K$ για το νερό, και η αντίσταση του τοιχώματος θεωρείται αμελητέα. Ο πρώτος συντελεστής είναι ανεξάρτητος της παροχής ενώ ο δεύτερος μεταβάλλεται ως $h_i \sim m_w^{0,8}$.

(α) Υπολογίστε το μέγεθος του εναλλάκτη για καθαρές επιφάνειες εναλλαγής, καθώς και για τις τιμές θερμικής αντίστασης επικαθήσεων που προτείνει ο TEMA ($u_w > 0,9$ m/s).

(β) Ο εναλλάκτης που σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη τις επικαθήσεις, τίθεται σε λειτουργία καθαρός και σταδιακά ρυπαίνεται. Υπολογίστε και παρουσιάστε σε διάγραμμα την απόκλιση των βασικών μεταβλητών από τις τιμές σχεδιασμού ως συνάρτηση της αντίστασης επικαθήσεων για τις εξής δύο περιπτώσεις: (β1) Λειτουργία διατηρώντας σταθερή την παροχή νερού ψύξης και (β2) λειτουργία με σταδιακή μεταβολή της παροχής νερού ψύξης ώστε να διατηρείται σταθερό το θερμικό καθήκον. Στην περίπτωση (β1), αυξημένη θερμοροή συνεπάγεται αυξημένη παροχή κορεσμένου συμπυκνώματος στην έξοδο.

(ΥΠΟΔΕΙΞΗ: Πιθανόν εξυπηρετεί η μέθοδος ϵ -NTU, εφαρμοσμένη για την περίπτωση που στην μία πλευρά λαμβάνει χώρα μόνον αλλαγή φάσης. Για την επίλυση της εργασίας, προτείνεται η χρήση υπολογιστικού φύλλου εργασίας. Μπορείτε να αξιοποιήσετε και τον επιλύτη-solver-που υπάρχει αλλά δεν είναι εγκατεστημένος.)

Λύση

α)

$$\left. \begin{array}{l} m_{h,d} = 0.35 \text{ kg} / \text{s} \\ H_{lv} = 2382 \text{ kJ} / \text{kg} \end{array} \right\} \Rightarrow Q_d = m_{h,d} H_{lv} = 833.7 \text{ kW}$$

$$\left. \begin{array}{l} m_{c,d} = 9 \text{ kg} / \text{s} \\ T_{c,i} = 10^\circ C \end{array} \right\} \Rightarrow Q_d = m_{c,d} c_{pc} (T_{co,d} - T_{ci}) \Rightarrow T_{co,d} = 32.2^\circ C$$

$$\Delta T_{LM} = 27.4^\circ C$$

$$U_{clean} = 3548 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

$$U_d = 1832 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

$$A_{clean} = 8.6m^2$$

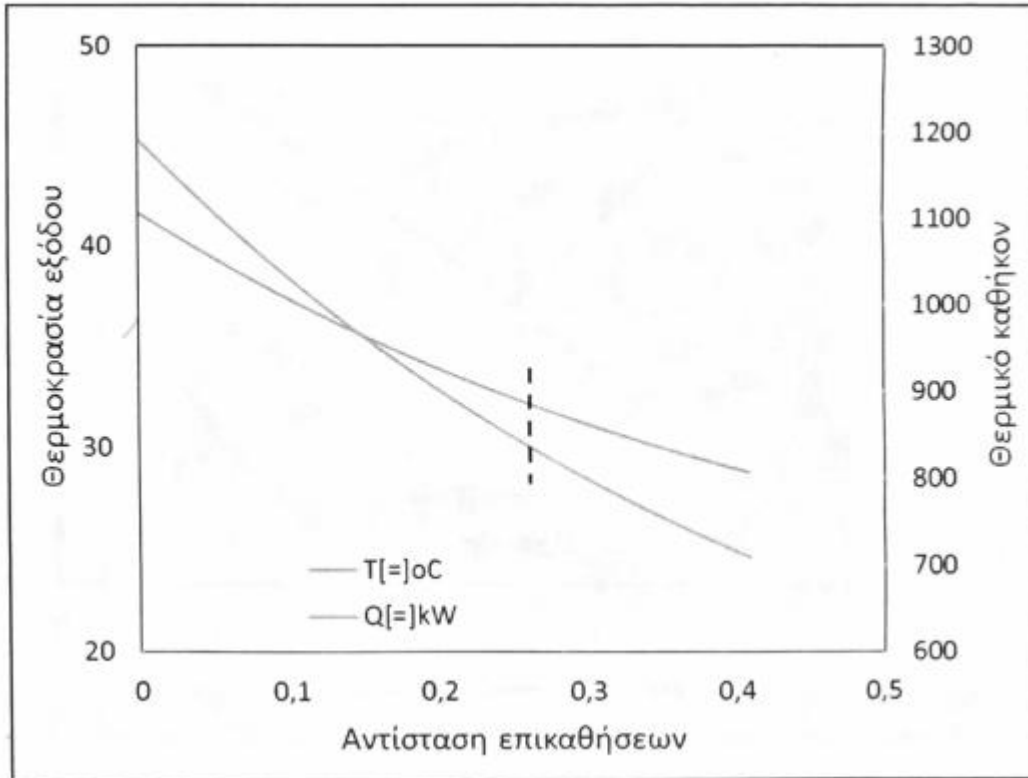
$$A_d = 16.6m^2$$

β1)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{i,d}} + \frac{1}{h_o} + R_{fi}, \quad R_{fi} \in [0, R_{fi} + R_{fo}]$$

$$NTU = \frac{UA}{m_{c,d}c_{pc}} \Rightarrow \varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{T_{co} - T_{ci}}{T_h - T_{ci}} \Rightarrow \begin{cases} T_{co} = T_{ci} + \varepsilon(T_h - T_{ci}) \\ Q = \varepsilon Q_{\max} \end{cases}$$

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



β2)

$$\frac{h_i}{h_{i,d}} = \left(\frac{m_c}{m_{c,d}} \right)^{0.8} \Rightarrow h_i = h_{i,d} \left(\frac{m_c}{m_{c,d}} \right)^{0.8} \Rightarrow \frac{1}{h_i} = \frac{1}{h_{i,d}} \left(\frac{m_{c,d}}{m_c} \right)^{0.8}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + R_{ft} + \frac{1}{h_{i,d}} \left(\frac{m_{c,d}}{m_c} \right)^{0.8}$$

$$NTU = \frac{UA}{m_c c_{pc}}$$

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} = 1 - e^{-NTU} \Rightarrow 1 - e^{-\frac{UA}{m_c c_{pc}}} = \frac{Q}{Q_{\max}} \Rightarrow 1 - e^{-\frac{UA}{m_c c_{pc}}} = \frac{Q}{m_w c_{pw} (T_h - T_{ci})}$$

Θέλω να βρω το m_c ώστε $Q = Q_d$

$$1 - e^{-\frac{UA}{m_c c_{pc}}} = \frac{Q_d}{m_c c_{pc} (T_h - T_{ci})}$$

το m_c αυτό προκύπτει από την επίλυση της παραπάνω εξίσωσης για διάφορες τιμές του R_{ft} .

$$\text{Η θερμοκρασία εξόδου είναι } Q_d = m_c c_{pc} (T_{wo} - T_{wi}) \Rightarrow T_{wo} = T_{wi} + \frac{Q_d}{m_c c_{pc}}$$

