

6^η Σειρά Ασκήσεων :Υπολογισμός Εναλλάκτη Κελύφους- Αυλών

Στη βιομηχανική μονάδα που έχετε μόλις προσληφθεί σας ρωτάει ο Διευθυντής αν γνωρίζετε να σχεδιάζετε εναλλάκτες κελύφους-αυλών. Το πρόβλημα που έχετε να αντιμετωπίσετε είναι η ψύξη ενός θερμού ρεύματος ελαίου το οποίο εξέρχεται από μια παραγωγική διεργασία σε θερμοκρασία 180°C με παροχή ίση με $(20,000+3 \text{ τελευταία ψηφία του AM}) \text{ Kg/h}$. Η ψύξη θα γίνει με ένα κρύο ρεύμα πετρελαίου, το οποίο είναι διαθέσιμο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, στους 25°C . Έχετε στη διάθεση σας ένα εναλλάκτη τύπου κελύφους αυλών 1-4 και σας ζητάνε να λειτουργήσετε τον εναλλάκτη **εισάγοντας το θερμό έλαιο στο κέλυφος και το ψυχρό πετρέλαιο στους αυλούς**. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εναλλάκτη είναι τα εξής:

Αριθμός αυλών 340, Εσωτερική διάμετρος κελύφους 25 in , διάταξη αυλών τετραγωνική με βήμα $1\frac{1}{2} \text{ in}$, μήκος αυλού 18 ft , βήμα χωρισμάτων 6 in , αυλοί από κοινό χάλυβα με σχετική τραχύτητα $e/d = 5 \cdot 10^{-5}$ και με εξωτερική διάμετρο $1\frac{1}{4} \text{ in}$, πάχος τοιχώματος σωλήνα 0.1 in . Από πείρα ξέρουμε ότι ο ολικός συντελεστής ρυπάνσεως είναι $5.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K/W}$, $k_{\text{χάλυβα}} = 50 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$

Η παροχή του διαθέσιμου ψυχρού πετρελαίου δεν μπορεί να είναι πάνω από την τριπλάσια παροχή του θερμού ρευστού, γιατί αυτή είναι η διαθέσιμη ποσότητα. Η θερμοκρασία του εξόδου του θερμού ελαίου (από το κέλυφος) και η θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού πετρελαίου (από τους αυλούς) είναι ίδιες ακριβώς (τι σύμπτωση!). Υπολογίστε κατ' αρχήν τις θερμοκρασίες $T_{\theta,\varepsilon\xi} = T_{\psi,\varepsilon\xi}$.

Στην συνέχεια υπολογίστε αναλυτικά την πτώση πίεσης στο κέλυφος και στους αυλούς και μετά εξετάστε, υπολογίζοντας όλες τις απαραίτητες τιμές, αν είναι ο διαθέσιμος εναλλάκτης για την ψύξη του θερμού ελαίου είναι κατάλληλος ($\Delta P_{\theta} < 0.6 \text{ bar}$, $\Delta P_{\psi} < 0.6 \text{ bar}$, $R_p = 5.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K/W}$)

Τι θα απαντήσετε στον Διευθυντή σας?

Δεδομένα:

Θερμοφυσικές ιδιότητες (υπολογισμένες στις μέσες θερμοκρασίες)

$$c_{p,\theta} = 2500 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{K}$$

$$c_{p,\psi} = 2000 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{K}$$

$$\mu_{\theta,b} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Pas}$$

$$\mu_{\psi,b} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Pas}$$

$$\rho_{\theta,b} = 700 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\psi,b} = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$k_{\theta,b} = 0.120 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$$

$$k_{\psi,b} = 0.130 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$$

ΔΕΝ ΘΑ ΑΝΑΖΗΤΗΣΕΤΕ ΤΙΣ ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟ ΠΙΝΑΚΕΣ Ή ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ. ΘΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΕΤΕ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ που δίνονται στον παραπάνω ΠΙΝΑΚΑ.

Για αριθμό μητρώου 1001527, η ΠΑΡΟΧΗ ΘΕΡΜΟΥ: $m'_{\theta} = (20,000+527) = 20527 \text{ kg/h}$

Α. Ξεκινήστε τους υπολογισμούς με την εύρεση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του εναλλάκτη και συμπληρώστε τον Πίνακα (12 μόρια)

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

D _k , m	d _o , m	N _σ , αριθμός σωλήνων
D _e , m	d _i , m	N _x , αριθμός χωρισμάτων
A _k , m ²	A _σ , m ²	B _{σ,βήμα} σωλήνων m
B _χ , m	A _o , m ²	N _δ , διαδρομές σωλήνων
N _δ , κελυφος	N _δ , σωλήνες	I _σ , μήκος σωλήνων, m

Β. Καταγράψτε την παροχή του ψυχρού και του θερμού υγρού, υπολογίστε τις θερμοκρασίες εξόδου των δύο ρευστών και το ποσό της θερμότητας που εναλλάσσεται μεταξύ του θερμού και ψυχρού υγρού (6 μόρια)

Μαζική παροχή θερμού υγρού, m'_θ= _____ kg/s

Μαζική παροχή ψυχρού υγρού, m'_ψ= _____ kg/s

T_{ψ,εξ}=T_{θ,εξ}= _____ °C

Θερμότητα που εναλλάσσεται, Q'= _____ kWatt

Γ. Υπολογίστε τις πτώσεις πίεσης (12 μόρια)

Θερμό έλαιο στην πλευρά του κελύφους και ψυχρό πετρέλαιο στη πλευρά των σωλήνων

Πλευρά Κελύφους	Πλευρά Σωλήνων
Θερμό Έλαιο $G_k \stackrel{(35)}{=} \frac{\dot{m}_k}{A_k} = \text{_____} kg/m^2 s$ $Re_k \stackrel{(39)}{=} \frac{D_e G_k}{\mu_{\theta,b}} = \text{_____}$ $Re_k = \text{_____} \xrightarrow{\Sigma \chi .42} f_k = \text{_____}$ Εξισ. (83) → $(\Delta p)_k = \text{_____} kPa$	Ψυχρό Πετρέλαιο $G_\sigma \stackrel{(87)}{=} \frac{\dot{m}_\sigma}{A_\sigma} = \text{_____} kg/m^2 s$ $Re_\sigma = \frac{d_i G_\sigma}{\mu_b} = \text{_____}$ $\frac{e}{d_i} = 0.00005 \text{ (εφελκυσμένος σωλήνας)}$ $f(Re, 5 \times 10^{-5}) = \text{_____}$ $(\Delta p)_{\sigma \omega \lambda} \stackrel{(85)}{=} \text{_____} kPa$ $(\Delta p)_{\sigma \tau \rho \omega \varepsilon} \stackrel{(85)}{=} \text{_____} kPa$ $\Delta P o \lambda = (\Delta p)_\sigma + (\Delta p)_{\sigma \tau} = \text{_____} kPa$

Δ. Υπολογισμός Θερμοκρασιών (6 μόρια)

$$(1) \quad T_1 = \text{_____} ^\circ C, T_2 = \text{_____} ^\circ C, t_1 = \text{_____} ^\circ C, t_2 = \text{_____} ^\circ C,$$

$$(\Delta T)_{\ell m} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ell n \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \text{_____} ^\circ C$$

$$(2) \quad \left. \begin{array}{l} R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \text{_____} \\ S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \text{_____} \end{array} \right\} \xrightarrow{E \xi .(82)} F_T = \frac{\sqrt{R^2 + 1} \ell n \frac{(1-S)}{(1-RS)}}{(R-1) \ell n \frac{2-S(R+1-\sqrt{R^2+1})}{2-S(R+1+\sqrt{R^2+1})}} = \text{_____}$$

$$(3) \quad (\Delta T)_\varphi = (\Delta T)_{\ell m} F_T = \text{_____} ^\circ C$$

Ε. Υπολογισμός συντελεστών μεταφοράς θερμότητας (16 μόρια)

Πλευρά Κελύφουνς	Πλευρά Σωλήνων
<p>Μαζική ταχύτητα G_κ</p> $G_\kappa = \frac{\dot{m}_\kappa}{A_\kappa} = \text{_____} \text{ kg/m}^2\text{s}$ $j_H = \text{_____} \text{ (Εξισ. (37))}$ $h_0 = \text{_____}$ $h_0 = j_H \frac{k}{D_e} \left(\frac{c_{p,\kappa} \mu_b}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0.14}$ <p>Από τα δεδομένα:</p> $k = \text{_____} \text{ W/m}^o\text{K}$ $c_{p,\kappa} = \text{_____} \text{ J/kg}^o\text{K}$ $\mu_b = \text{_____} \text{ Pa.s}$ $Pr_b = \frac{c_{p,\kappa} \mu_b}{k} = \text{_____}$ $(Pr_b)^{\frac{1}{3}} =$ <p>Υποθέτοντας $\left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)_\sigma^{0.14} = 1$:</p> $h_0 = \text{_____} \text{ W/m}^2 \text{ }^o\text{K}$	<p>Μαζική ταχύτητα G_σ</p> $G_\sigma = \frac{\dot{m}_\sigma}{A_\sigma} = \text{_____} \text{ kg/m}^2\text{s}$ $j_H =; (j_{H,\psi} = 0.026 \text{ } Re_\psi^{0.8})$ $j_H = \text{_____}$ $h_i = \text{_____}$ $h_i = j_H \frac{k}{d_i} \left(\frac{c_{p,\sigma} \mu_b}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0.14}$ <p>Από τα δεδομένα:</p> $k = \text{_____} \text{ W/m}^o\text{K}$ $c_{p,\sigma} = \text{_____} \text{ J/kg}^o\text{K}$ $\mu_b = \text{_____} \text{ Pa.s}$ $Pr_b = \frac{c_{p,\sigma} \mu_b}{k} = \text{_____}$ $(Pr_b)^{1/3} =$ <p>Υποθέτοντας $\left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)_\sigma^{0.14} = 1$:</p> $h_i = \text{_____} \text{ W/m}^2 \text{ }^o\text{K}$

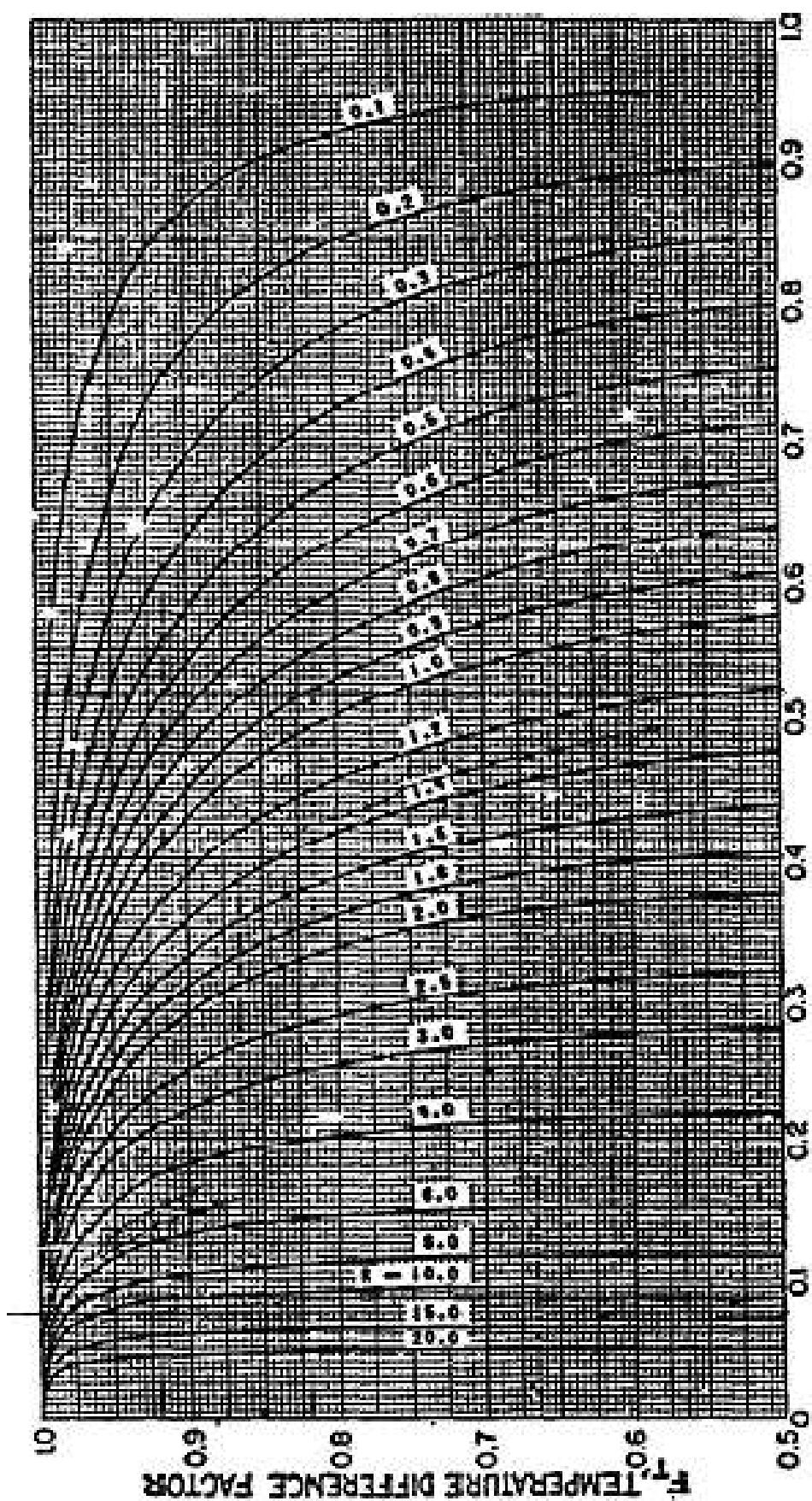
ΣΤ. Υπολογισμός των ολικών συντελεστών μεταφοράς Θερμότητας, U_o , $U_{\sigma\chi}$ (8μόρια)
 $(\kappa_{χάλυβα}=50 \text{ W.m}^o\text{K})$

$$U_o = \text{_____} \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

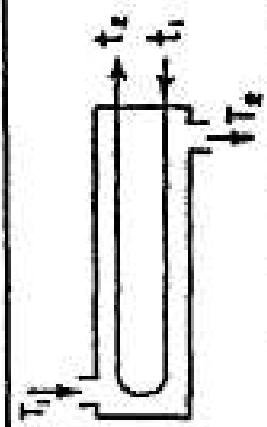
$$U_{\sigma\chi} = \text{_____} \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Διαθέσιμος συντελεστής ρύπανσης, $R_p = \text{_____}$

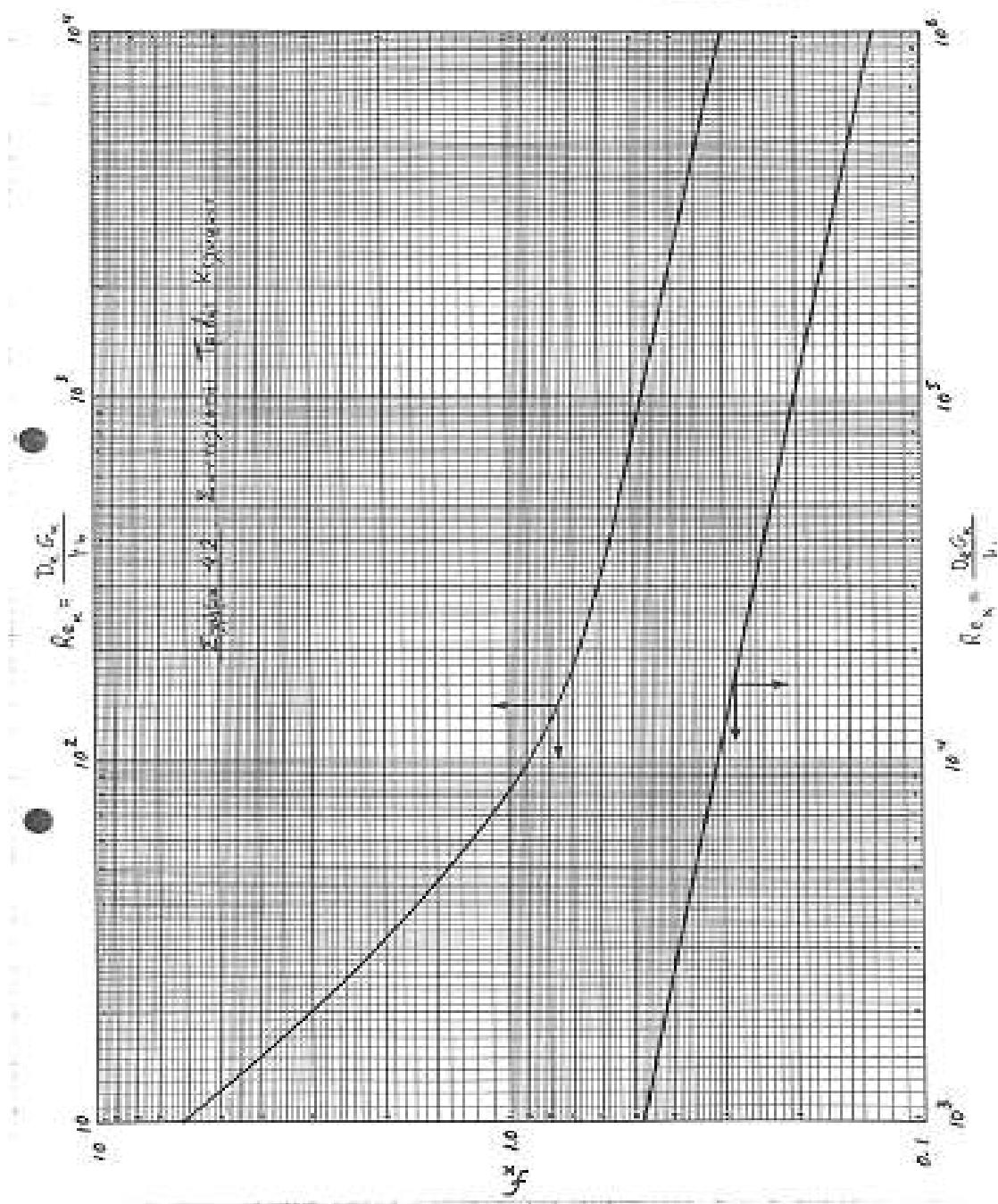
Είναι ο Εναλλάκτης κατάλληλος και γιατί?



LMTD CORRECTION FACTOR, F_T
1 SHELL PASS 2 OR MORE TUBE PASSES



$$R = \frac{T_2 - T_1}{t_2 - t_1} \quad S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad \frac{F_T}{F_{\Delta T}} = \frac{1 + CR}{1 + CS}$$



Moody Diagram

