

## ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ Ι

### Διαγώνισμα 31/1/2023

Η διάρκεια του διαγωνίσματος είναι 3 ώρες. Δεν είναι απαραίτητο να απαντήσετε σε όλα.  
Η βαθμολογία είναι σχετική, οι καλύτερες απαντήσεις θα βαθμολογηθούν με δέκα.  
Να αναφέρονται με σαφήνεια οι παραδοχές. Να εξηγούνται οι εξισώσεις.  
Να περιγράφονται οι μεταβλητές που δεν αναφέρονται στην εκφώνηση.  
Να προκύπτει εύκολα ο αλγόριθμος επίλυσης και οι πράξεις που οδηγούν στο αποτέλεσμα.  
Θα βαθμολογηθεί η διατύπωση των σκέψεων και η μορφή της έκθεσης.  
Απαγορεύεται η συνεργασία. Επιτρέπεται μόνο ένα τετράδιο προσωπικών χειρόγραφων σημειώσεων.

### Συμπύκνωση ακετόνης

Σε φαρμακευτική βιομηχανία σχεδιάζεται η ψύξη ακετόνης παροχής  $F=10\text{t/h}$  από υπέρθερμο ατμό  $T_V=200^\circ\text{C}$  σε υπόψυκτο υγρό  $T_L=25^\circ\text{C}$ , σε ατμοσφαιρική πίεση ( $P=1\text{bar}$ ) χρησιμοποιώντας νερό ψύξης  $T_{w1}=15^\circ\text{C}$ .

Η ακετόνη συμπυκνώνεται σε θερμοκρασία  $T_b=75^\circ\text{C}$  με λανθάνουσα θερμότητα  $\Delta H=500\text{kJ/kg}$ .

Η ειδική θερμότητα του νερού ψύξης είναι  $C_{pw}=4.18\text{kJ/kgK}$ ,

της υγρής ακετόνης  $C_{pl}=2.18\text{kJ/kgK}$  και της αέριας  $C_{pv}=1.18\text{kJ/kgK}$ .

(1) Να υπολογιστεί η ελάχιστη απαιτούμενη παροχή του νερού ψύξης για ομορορή και αντιρροή.

(2) Να υπολογιστεί η θερμοκρασία επιστροφής του νερού ψύξης και στις δύο περιπτώσεις.

(3) Να σχεδιαστεί το διάγραμμα ενθαλπίας-θερμοκρασίας και για τις δύο περιπτώσεις.

### Σχεδιασμός Εγκατάστασης Παστερίωσης Γάλατος

Για την παστερίωση γάλατος το γάλα πρέπει να θερμανθεί στους  $105^\circ\text{C}$  από τους  $5^\circ\text{C}$  των βυτίων μεταφοράς και να ψυχθεί γρήγορα στην ίδια θερμοκρασία για διανομή.

Το γάλα αρχικά προθερμαίνεται στους  $80^\circ\text{C}$  στον εναλλάκτη ανάκτησης θερμότητας από το εξερχόμενο παστεριωμένο γάλα και στη συνέχεια θερμαίνεται στους  $105^\circ\text{C}$  στον θερμαντήρα με κορεσμένο ατμό θέρμανσης  $120^\circ\text{C}$ .

Το παστεριωμένο γάλα αρχικά προψύχεται στους  $25^\circ\text{C}$  στον εναλλάκτη ανάκτησης θερμότητας από το προς παστερίωση γάλα και στη συνέχεια ψύχεται στην τελική θερμοκρασία των  $5^\circ\text{C}$  με αντλία θερμότητας.

Στην αντλία θερμότητας το ψυκτικό εξατμίζεται στους  $-5^\circ\text{C}$  και συμπυκνώνεται στους  $45^\circ\text{C}$  χρησιμοποιώντας νερό ψύξης από τους  $15$  μέχρι τους  $35^\circ\text{C}$ .

Ζητούνται:

(1) το διάγραμμα ροής της εγκατάστασης,

(2) το διάγραμμα ενθαλπίας-θερμοκρασίας για την εγκατάσταση

(3) ο ιδανικός συντελεστής λειτουργίας της αντλίας θερμότητας,

(4) το κόστος θέρμανσης και το κόστος ψύξης ανά τόνο γάλατος, με ανάκτηση θερμότητας και χωρίς.

Εναλλακτικά να δοκιμάσετε την ιδέα άντλησης θερμότητας από το εξερχόμενο ρεύμα προς το εισερχόμενο:

(5) το διάγραμμα ροής της εναλλακτικής εγκατάστασης,

(6) το διάγραμμα ενθαλπίας-θερμοκρασίας για την εναλλακτική εγκατάσταση

Στα (1), (2), (5), και (6) να αναγράφονται με σαφήνεια οι θερμοκρασίες.

Η ειδική θερμότητα του γάλατος είναι  $3.96\text{kJ/kgK}$

Το κόστος θέρμανσης και ψύξης είναι  $90$  και  $60\text{€/MWh}$ , αντίστοιχα.

### Ισοζύγια Μάζας και Ενέργειας Πύργου Ψύξης

Σχεδιάζεται πύργος ψύξης με πληρωτικά υλικά για την ψύξη επιστρεφόμενου νερού ψύξης,

από αρχική θερμοκρασία  $T_{w2}=45^\circ\text{C}$  σε τελική  $T_{w1}=30^\circ\text{C}$ ,

χρησιμοποιώντας ατμοσφαιρικό αέρα θερμοκρασίας  $T_1=25^\circ\text{C}$  και σχετικής υγρασίας  $a_{w1}=50\%$ .

Το νερό καταιώνιζεται στην κορυφή με παροχή  $L_2$  (kg/s) και απομακρύνεται από τον πυθμένα με παροχή  $L_1$  (kg/s).

Ο αέρας κατανέμεται στον πυθμένα και απομακρύνεται από την κορυφή σε ισορροπία με το εισερχόμενο νερό, δηλαδή στη θερμοκρασία του εισερχόμενου νερού και κορεσμένος σε αυτή τη θερμοκρασία.

(1) Να υπολογιστεί η παροχή του νερού ψύξης  $L_2$  (kg/s) που μπορεί να επεξεργαστεί με παροχή αέρα  $G=1\text{kg/s}$  ξβ.

(2) Να σχεδιασθεί το διάγραμμα ροής

(3) καθώς και το διάγραμμα Ενθαλπίας-Θερμοκρασίας

(4) Να σχεδιαστεί η διαδρομή του αέρα στον ψυχομετρικό χάρτη

Στα (2), (3) και (4) να αναγράφονται οι θερμοκρασίες, υγρασίες και παροχές, όπου χρειάζεται.

Σταθερές εξίσωσης Antoine για το νερό:  $a_1=11.9$ ,  $a_2=3950$ ,  $a_3=232$  όπου η πίεση σε bar και η θερμοκρασία σε  $^\circ\text{C}$ .

Μοριακό βάρος νερού προς μοριακό βάρος αέρα  $m=0.622$ .

Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης νερού στους  $0^\circ\text{C}$   $\Delta H_0=2.50\text{MJ/kg}$ .

Μέση ειδική θερμότητα ξηρού αέρα  $C_{pA}=1.00\text{kJ/kgC}$ .

Μέση ειδική θερμότητα υδρατμού  $C_{pV}=1.88\text{kJ/kgC}$

Μέση ειδική θερμότητα νερού  $C_{pL}=4.18\text{kJ/kgC}$

### 1. Συμπύκνωση ακετόνης

Σε φαρμακευτική βιομηχανία, εναλλάκτης κελύφους και σωλήνων επιφάνειας 100 m<sup>2</sup> χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση ακετόνης από κορεσμένο ατμό σε κορεσμένο υγρό, χρησιμοποιώντας νερό ψύξης 15°C.

Ο εναλλάκτης διαθέτει ατμοπαγίδα και θερμοστάτη.

Η ατμοπαγίδα εμποδίζει την έξοδο του ατμού και κατά συνέπεια εξέρχεται μόνο κορεσμένο υγρό.

Ο θερμοστάτης ρυθμίζει τη θερμοκρασία εξόδου του νερού ψύξης (ρυθμιζόμενη μεταβλητή) στην επιθυμητή τιμή μεταβάλλοντας την παροχή του νερού ψύξης (μεταβλητή εκ χειρισμού).

Ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι ίσος με 1 kW/m<sup>2</sup>K.

Η ακετόνη συμπυκνώνεται σε θερμοκρασία 75°C με λανθάνουσα θερμότητα 502 kJ/kg.

Η ειδική θερμότητα του νερού ψύξης είναι 4.18 kJ/kgK.

- 1.1. Να σχεδιαστεί το διάγραμμα ροής και οργάνων. Να αναφέρονται επί του διαγράμματος οι κρίσιμες πληροφορίες.
- 1.2. Να υπολογιστεί το ανταλλασσόμενο ποσό θερμότητας, το παραγόμενο συμπύκνωμα και το απαιτούμενο νερό ψύξης για 3 διαφορετικές θερμοκρασίες εξόδου του νερού ψύξης, 35, 45, 70°C.
- 1.3. Να σχεδιαστεί και να σχολιαστεί το διάγραμμα ενθαλπίας-θερμοκρασίας για 3 διαφορετικές θερμοκρασίες εξόδου του νερού ψύξης, 35, 45, 70°C, στο ίδιο σχήμα. Να αναφέρονται επί του διαγράμματος οι κρίσιμες τιμές.
- 1.4. Να σχεδιαστεί το διάγραμμα παραγωγής συμπυκνώματος και απαιτούμενου νερού ψύξης συναρτήσει της θερμοκρασίας εξόδου του νερού ψύξης.

### 2. Ανάκτηση ακετόνης από ρεύμα αέρα με ψύξη

Σε φαρμακευτική βιομηχανία ανακτάται υγρή ακετόνη από αέριο ρεύμα που περιέχει ατμούς ακετόνης με ψύξη.

Μετά την ψύξη η υγροποιημένη ακετόνη διαχωρίζεται

και το υπόλοιπο ψυχρό ρεύμα χρησιμοποιείται για την πρόψυξη του αρχικού ρεύματος.

Η ολοκλήρωση της ψύξης γίνεται με εξάτμιση υγρής αμμωνίας στους -20°C.

Το αρχικό ρεύμα με παροχή 10 kg/s ξβ, πίεση 7 bar, θερμοκρασία 120°C και συγκέντρωση ακετόνης 0.50 kg/kg ξβ ψύχεται μέχρι τους 0°C και στη συνέχεια, μετά την απομάκρυνση της υγρής ακετόνης θερμαίνεται μέχρι τους 100°C, ψύχοντας με αυτόν τον τρόπο το αρχικό ρεύμα.

Ο λόγος μοριακού βάρους της ακετόνης προς το μοριακό βάρος του αέρα είναι 2.

Ειδική θερμότητα ατμού ακετόνης 1.18 kJ/kgK.

Ειδική θερμότητα υγρής ακετόνης 2.18 kJ/kgK.

Ειδική θερμότητα αέρα 1.10 kJ/kgK.

Θερμότητα συμπύκνωσης ακετόνης 502 kJ/kg.

Σταθερές εξίσωσης Antoine ακετόνης  $a_1 = 10.112$ ,  $a_2 = 2976.0$ ,  $a_3 = 238.63$  όπου  $P = \text{Exp}[a_1 - a_2 / (a_3 + T)]$ ,  $P(\text{bar})$ ,  $T(^{\circ}\text{C})$ .

- 2.1. Να σχεδιαστεί το διάγραμμα ροής και οργάνων. Να αναφέρονται επί του διαγράμματος οι κρίσιμες πληροφορίες.
- 2.2. Να υπολογιστεί το σημείο δρόσου του αρχικού ρεύματος.
- 2.3. Να υπολογιστεί η παροχή της απομακρυνόμενης υγρής ακετόνης
- 2.4. Να υπολογιστεί η επιτυχανόμενη ψύξη με την υγρή αμμωνία καθώς και η ανακτώμενη ψύξη μεταξύ αρχικού και τελικού ρεύματος.
- 2.5. Να σχεδιαστεί και να εξηγηθεί το διάγραμμα ενθαλπίας-θερμοκρασίας. Να αναφέρονται επί του διαγράμματος οι κρίσιμες τιμές.