

Φυσικές Διεργασίες

Τρίτη Διάλεξη

Δευτέρα, 24 Μαρτίου 2008

1. Ισοζύγιο μάζας και ενέργειας αποστακτικής στήλης

Με αναφορά στο σχήμα που δόθηκε (βλ. διάλεξη 2) ισχύει:

Ισοζύγιο μάζας:

x παριστάνει κλάσμα υγρού, y παριστάνει κλάσμα αερίου και ο κάτω δείκτης i αναφέρεται στο i -στό συστατικό από μίγμα N συστατικών. Ειδικά για την τροφοδοσία συνηθίζεται και το γράμμα z επειδή μπορεί να είναι υγρή, αέρια ή μίγμα υγρού και αερίου. Τότε:

Για τη στήλη συνολικά.

$$F = B + D \quad (1)$$

$$z_i^F F = x_i^B B + x_i^D D \quad (2)$$

Για την κορυφή της στήλης.

$$V = L + D \quad (3)$$

$$y_i^V V = x_i^L L + x_i^D D \quad (4)$$

Για τη βάση (πυθμένα) της στήλης (μία οριζόντια γραμμή πάνω από κάθε σύμβολο υποδηλώνει ότι πρόκειται για ρεύμα που αναφέρεται στον πυθμένα).

$$\bar{L} = B + \bar{V} \quad (5)$$

$$x_i^L \bar{L} = x_i^B B + y_i^{\bar{V}} \bar{V} \quad (6)$$

Για μια βαθμίδα της στήλης.

$$V_{n+1} + L_{n-1} = V_n + L_n \quad (7)$$

$$y_i^{n+1} V^{n+1} + x_i^{n-1} L^{n-1} = y_i^n V^n + x_i^n L^n \quad (8)$$

Για τη βαθμίδα ή δίσκο τροφοδοσίας της στήλης.

$$F + V^{n+1} + L^{n-1} = V^n + L^n \quad (9)$$

$$z_i F + y_i^{n+1} V^{n+1} + x_i^{n-1} L^{n-1} = y_i^n V^n + x_i^n L^n \quad (10)$$

κλπ

Παρατηρήσεις:

- Το ισοζύγιο μπορεί να εφαρμοστεί και σε οποιοδήποτε τμήμα ή “όγκο ελέγχου” της στήλης (ή οποιασδήποτε διεργασίας).
- Λύνοντας τα ισοζύγια των συστατικών ως προς y παίρνουμε το y ως συνάρτηση του x και αυτό λέγεται εξίσωση ή **γραμμή λειτουργίας** του τμήματος στο οποίο αναφέρεται το ισοζύγιο. Συνήθως μας ενδιαφέρουν οι γραμμές λειτουργίας του τμήματος εμπλουτισμού, του τμήματος εξάντλησης και της στήλης ως σύνολο.
- Ο **λόγος αναρροής** ορίζεται ως $R = L / D$. Τότε προκύπτει ότι $V = (R+1)D$. Η έκφραση των ισοζυγίων συναρτήσει του βαθμού αναρροής παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον επειδή η αναρροή είναι μία σημαντική ρυθμιζόμενη παράμετρος που σχετίζεται αφ' ενός με τη σύσταση και αφ' ετέρου με την ποσότητα του αποστάγματος.

Ισοζύγιο ενέργειας:

Έστω Q_b , Q_c , Q_l η θερμότητα που δίνεται στον αναβραστήρα, απομακρύνεται από το συμπυκνωτήρα, απομακρύνεται από τη στήλη γενικά λόγω απωλειών, αντίστοιχα και H_p η ενθαλπία του ρεύματος p .

Τότε:

Για όλη τη στήλη:

$$Q_b + F H_F = D H_D + B H_B + Q_c + Q_l \quad (11)$$

$$Q_c = V H_V - L H_L - D H_D \quad (12)$$

Τότε, με τη βοήθεια και των ισοζυγίων μάζας προκύπτει ότι

$$Q_b = D(H_v - H_F) + DR(H_v - H_L) + B(H_B - H_F) + Q_l \quad (13)$$

δηλαδή η θερμότητα του αναβραστήρα πηγαίνει στην εξάτμιση του αποστάγματος και της αναρροής, τη θέρμανση του υπολείμματος και την αντιστάθμιση των απωλειών.

2. Υπολογισμοί κλασματικής απόσταξης

Ισορροπία ατμών υγρού

Κανόνας του Gibbs για τους βαθμούς ελευθερίας

Συνήθης έκφραση δεδομένων ισορροπίας για δυαδικά μίγματα είναι

- Πίεση συναρτήσει σύστασης υγρού / αερίου για σταθερή θερμοκρασία (διαγράμματα P - xy)
- Θερμοκρασία συναρτήσει σύστασης για σταθερή πίεση (διαγράμματα T - xy)
- Σύσταση αερίου συναρτήσει σύστασης υγρού για σταθερή πίεση (διαγράμματα y - x)

Βασικές έννοιες

Οι υπολογισμοί για αποστακτικές στήλες στηρίζονται σε ορισμένες βασικές έννοιες και παραδοχές:

Ως **θεωρητική βαθμίδα** ορίζεται κάθε διάταξη που επιτρέπει

- την άμεση επαφή δύο φάσεων έτσι ώστε τα ρεύματα εξόδου να είναι σε ισορροπία,
- το διαχωρισμό των φάσεων

Όσον αφορά τις αποστακτικές στήλες οι *πραγματικές* βαθμίδες αντιστοιχούν στους δίσκους (εκτός αν έχουμε στήλες με πληρωτικό υλικό οπότε κάνουμε αναγκαστικά λόγο μόνο για θεωρητικούς δίσκους).

Η πραγματική βαθμίδα αξιολογείται/συγκρίνεται με τη θεωρητική, μέσω του **βαθμού απόδοσης**.

Συνήθως χρησιμοποιείται ο ορισμός του βαθμού απόδοσης κατά Murphree, ο οποίος για τη φάση των ατμών δίνεται ως:

$$E_v = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_n^* - y_{n-1}} \times 100\% \quad (14)$$

όπου με y_n^* σημειώνεται η σύσταση της υποθετικής αέριας φάσης που θα ήταν σε ισορροπία με την υγρή φάση που εξέρχεται από την πραγματική βαθμίδα. Η φυσική σημασία είναι η πραγματική μεταβολή σύστασης σε σχέση με τη μεταβολή όταν υπάρχει ισορροπία. Να σημειωθεί όμως, σε δίσκους μεγάλης διαμέτρου, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην υγρή σύσταση έτσι ώστε ο ατμός που δημιουργείται από το πρώτο υγρό που φτάνει στο δίσκο θα είναι πιο πλούσιος στο πτητικό συστατικό από αυτόν που θα ήταν σε ισορροπία με το υγρό εξόδου, δίνοντας μερικές φορές βαθμό απόδοσης μεγαλύτερο από 100%. Ανάλογα με τον ατμό μπορεί να οριστεί και βαθμός απόδοσης E_L , βάσει του υγρού.

Αποκλίσεις από την ιδανικότητα

Επειδή ο χρόνος επαφής των φάσεων σε μια πραγματική βαθμίδα είναι περιορισμένος, δεν έχουμε πραγματική επίτευξη ισορροπίας, το οποίο συνεπάγεται ότι απαιτούνται περισσότερες βαθμίδες από τις θεωρητικές. Έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε και την ολική απόδοση στήλης ως:

$$N_{\text{θεωρητικές}} / N_{\text{πραγματικές}}$$

Γνωρίζοντας τις θεωρητικές βαθμίδες και το βαθμό απόδοσης μπορούμε να υπολογίσουμε το ύψος της στήλης.

Στόχος σχεδιασμού στήλης

Απαιτούμενα δεδομένα:

- ισορροπία ατμών-υγρού
- ισοζύγια μάζας και θερμότητας
- βαθμός απόδοσης δίσκου ή στήλης

Παραδοχές:

- μόνιμη κατάσταση
- ισορροπία (για υπολογισμό θεωρητικών δίσκων)
- σταθερή και ίδια πίεση και θερμοκρασία σε όλο το ύψος της στήλης (αυτή η παραδοχή δεν ισχύει σε λεπτομερή ανάλυση)

Ζητούμενα:

- Πίεση στήλης
- Ρυθμός τροφοδοσίας
- Ενθαλπία τροφοδοσίας
- Σύσταση τροφοδοσίας
- Σύσταση αποστάγματος
- Σύσταση υπολείμματος
- Θερμοκρασία ή ενθαλπία αναρροής
- Λόγος αναρροής

3. Υπολογισμός θεωρητικών βαθμίδων

Ο υπολογισμός του αριθμού θεωρητικών βαθμίδων μιας κλασματικής στήλης μπορεί να γίνει με ποικίλες αναλυτικές, γραφικές ή αριθμητικές μεθόδους. Από τις γραφικές, μια απλή, αποτελεσματική και διαδεδομένη είναι αυτή των **McCabe - Thiele**. Αυτή είναι κατάλληλη για επίδειξη βασικών εννοιών και περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- 1) Κατασκευή της γραμμής λειτουργίας για τμήματα εμπλουτισμού και εξάντλησης, καθώς και της γραμμής θερμικής κατάστασης τροφοδοσίας (βλ. παρακάτω)
- 2) Κατασκευή γραμμής ισορροπίας
- 3) Σχεδίαση μεταξύ αυτών, ορθογωνίων τριγώνων των οποίων οι κορυφές αντιστοιχούν σε συστάσεις, αρχίζοντας από την κορυφή.

Εφόσον η γραμμή ισορροπίας είναι ευθεία γραμμή (νόμος Henry για αραιά μίγματα), ο υπολογισμός μπορεί να γίνει και αναλυτικά.

Παραδοχές:

- Σταθερή μοριακή ροή ατμών και υγρού οπουδήποτε στη στήλη
- Η αναρροή είναι κορεσμένο υγρό

Γραμμή λειτουργίας τμήματος εμπλουτισμού:
από ισοζύγια μάζας,

$$y_n = \frac{L}{V} x_{n-1} + \frac{D}{V} x_D = \frac{R}{R+1} x_{n-1} + \frac{x_D}{R+1} \quad (15)$$

όπου η ο δίσκος ακριβώς πάνω από την τροφοδοσία.

Γραμμή λειτουργίας τμήματος εξάντλησης:

$$y_m = \frac{\bar{L}}{\bar{V}} x_{m-1} - \frac{B}{\bar{V}} x_B \quad (16)$$

Γραμμή q ή γραμμή θερμικής κατάστασης τροφοδοσίας:

Οι γραμμές λειτουργίας εμπλουτισμού και εξάντλησης τέμνονται σε ένα σημείο S. Η γραμμή θερμικής κατάστασης συνδέει το S με το σημείο $y = x = x_F$ (σύσταση τροφοδοσίας). Η γραμμή αυτή δίνεται από την εξίσωση

$$y = \frac{q}{q-1} x_s - \frac{x_F}{q-1} \quad (17)$$

όπου q είναι το ποσοστό της τροφοδοσίας που είναι κορεσμένο υγρό (το υπόλοιπο θεωρείται ότι είναι κορεσμένος ατμός). $q < 0$ σημαίνει υπέρθερμος ατμός και $q > 1$ σημαίνει υπόψυκτο υγρό. Ενδιάμεσες τιμές σημαίνουν μίγμα κορεσμένου ατμού-υγρού.

Οριακές περιπτώσεις

- Ελάχιστος λόγος αναρροής, $R_{\min}$: μικραίνοντας το R οι γραμμές λειτουργίας τείνουν να “αγγίζουν” τη γραμμή ισορροπίας και οι βαθμίδες γίνονται άπειρες.
- Ελάχιστος αριθμός δίσκων: για πλήρη αναρροή $R = \infty$ και οι γραμμές λειτουργίας έχουν κλίση ίση με 1 και ταυτίζονται με την κύρια διαγώνιο. Τότε έχουμε τον ελάχιστο δυνατό αριθμό θεωρητικών βαθμίδων, $N_{\min}$.

Εμπειρικός κανόνας για άριστο λόγο αναρροής: $R_{\text{opt}} = 1.2$ έως 1.5 του $R_{\min}$. Με βάση αυτό τον κανόνα,

μπορούμε να προσδιορίσουμε τις άριστες παραμέτρους λειτουργίας, αν βρούμε πρώτα τον ελάχιστο λόγο αναρρόης.

Εύρεση του ελάχιστου λόγου αναρρόης:

1) Εξίσωση Underwood για δυαδικά συστήματα.

$$\alpha \frac{x_F}{\alpha - \Theta} + \frac{1 - x_F}{1 - \Theta} = 1 - q \quad (18)$$

$$R_{\min} + 1 = \alpha \frac{x_D}{\alpha - \Theta} + \frac{1 - x_D}{1 - \Theta} \quad (19)$$

όπου α η μέση σχετική πτητικότητα στην τροφοδοσία και το απόσταγμα. Λύνουμε την πρώτη ως προς Θ και αντικαθιστούμε στη δεύτερη.

2) Διάγραμμα Gilliland: δίνει το $\frac{N - N_{\min}}{N + 1}$ σε σχέση με το $\frac{R - R_{\min}}{R + 1}$